ZUR
DIAGENESE DER ALPINEN KREIDE

INAUGURAL-
DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT II

DER

UNIVERSITÄT ZÜRICH

VON

JAN SCHOO

AUS AMSTERDAM.

BEGUTACHTET VON HERRN PROF. DR. H. SCHARDT.

COBLENZ-L. / 1922

TYPOGRAPHISCHE KUNST-ANSTALT GEBR. BREUER.

4°. Diss.
Zürich
1922.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507217_0062

DIAGENESE DER ALPINEN KREIDE

INAUGURAL-
DISSERTATION

ZUR
ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE
VORGELEGT DER
PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
UNIVERSITÄT ZÜRICH

VON
JAN SCHOO
AUS ZÜRICH

Bibliotheca Universitatis Jagellonicae

3073

ZUR DIAGENESE DER ALPINEN KREIDE

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT II

DER

UNIVERSITÄT ZÜRICH

VON

JAN SCHOO

AUS AMSTERDAM.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

BEGUTACHTET VON HERRN PROF. DR. H. SCHARDT.

COBLENZ-L. / 1922

TYPOGRAPHISCHE KUNST-ANSTALT GEBR. BREUER.

VORWORT.

Eine Untersuchung der senonen Kreide im holländischen Limburg gewährte mir Einblicke in die Umwandlungs- und Auflösungserscheinungen nicht nur der oberflächlichen, sondern auch der tieferen Schichten. Die Resultate meiner Beobachtungen erschienen in den „Verhandelingen van het geologisch-mijnbouwkundig genootschap" unter dem Titel: „Oplossingsverschijnselen in het krijtgebied van Zuid-Limburg". Aufmerksam geworden durch bestimmte Aehnlichkeiten in der mittleren Kreide der helvetischen Decken, dehnte ich auf Anregung von Herrn Prof. Schardt meine Untersuchungen auch auf diese aus.

Besonders die Knollenschichten der mittleren Kreide wurden in Betracht gezogen und es soll der Versuch gemacht werden, die eigentümliche Ausbildung dieser und anderer Gesteine als Resultat einer weitgehenden Umwandlung **nach** der Ablagerung zu erklären, während man bis jetzt diese Ausbildung als primär angesehen hat.

Es stellte sich weiter bei der Erforschung dieser Erscheinungen heraus, daß in gewissen Lösungsflächen eine Bewegung stattgefunden hat. Nach meiner Ansicht müssen sogar diese Lösungsflächen bei der Gebirgsbildung zusammen mit der Gesteinsbewegung entstanden sein.

Weil solche Flächen in der Schichtrichtung entstanden sind, war es notwendig, den Begriff der Schichtung nachzuprüfen und eine scharfe Unterscheidung der primären und sekundären Schichtungserscheinungen durchzuführen. Die sichtbare Trennung der Schichten ist immer eine sekundäre Erscheinung. Sie **kann** auf Gesteinsänderung oder Sedimentationsunterbruch beruhen, geht aber nicht notwendigerweise aus dieser hervor. Hingegen können sogar im homogenen Gestein durch Spannung Trennungsflächen entstehen. Diese Flächen sind dann eine Begleiterscheinung der Schichtbewegung.

Die Bewegung des Gesteins in Zusammenhang mit seiner Auflösung wäre nicht zu verstehen ohne Rücksicht auf seine Umwandlungsgeschichte überhaupt. Daher ist es notwendig zu einem Bild der ursprünglichen Ablagerung und ihrer nachfolgenden Umbildung, ihrer Diagenese, zu

gelangen. Weil die Kreideschichten der oberen helvetischen Decken einen deutlich geschichteten Charakter zeigen, ist man geneigt, eine geringfügige Umwandlung anzunehmen und ahnt nicht, wie tiefgreifende Aenderungen die Diagenese erzeugt hat.

Die Untersuchungen über die mittlere Kreide habe ich besonders an Hand des großen Werkes von **Arn. Heim:** „Monographie der Churfirsten-Mattstock-Gruppe" vorgenommen. Diese so ausführliche Arbeit hat mir außerordentlich wertvolle Anregung geboten. Ebenso die Arbeit von **Ernst Ganz:** „Stratigraphie der mittleren Kreide der oberen helvetischen Decken, in den nördlichen Schweizeralpen". Vergleichsmaterial habe ich besonders im Walenseegebiet, ferner in der Umgebung von Brunnen gesammelt. Im Geologischen Institut Zürich fanden sich die Dünnschliffe vor, welche Arn. Heim in der erwähnten Monographie beschrieben hat. Außerdem habe ich speziell für diesen Zweck Dünnschliffe herstellen lassen und untersuchte Sie gleichfalls im Geol. Institut Zürich.

Für die Förderung und freundliche Unterstützung meiner Arbeit spreche ich hier meinem Lehrer, Herrn Prof. Schardt, meinen herzlichen Dank aus. Herrn Dr. Amsler danke ich für manche Anregung und Herrn Prof. Grubenmann für seine schöne Einführung in die mikroskopische Gesteinsuntersuchung.

KAP. I.

Die Knollenschichten und ihre Begleitschichten.

Zwischen dem grauen Schrattenkalk und dem hellen Seewergestein verläuft in den helvetischen Decken ein äußerlich auffallend dunkles Band. Dieses Band wird wesentlich von Schichten der mittleren Kreide gebildet, die, wie im übrigen Europa, so auch hier, stark glaukonithaltig sind. Den Schrattenkalk überlagern Schichten des Gargasien und Albien. Auf diese folgen die Turriliten- und Ueberturrilitenschichten, welche sich in ihrer Lagerung und grünsandigen Ausbildung dem Albien anschließen. Darüber folgt der Seewerkalk als Basis der oberen Kreide. Für diese grünsandige

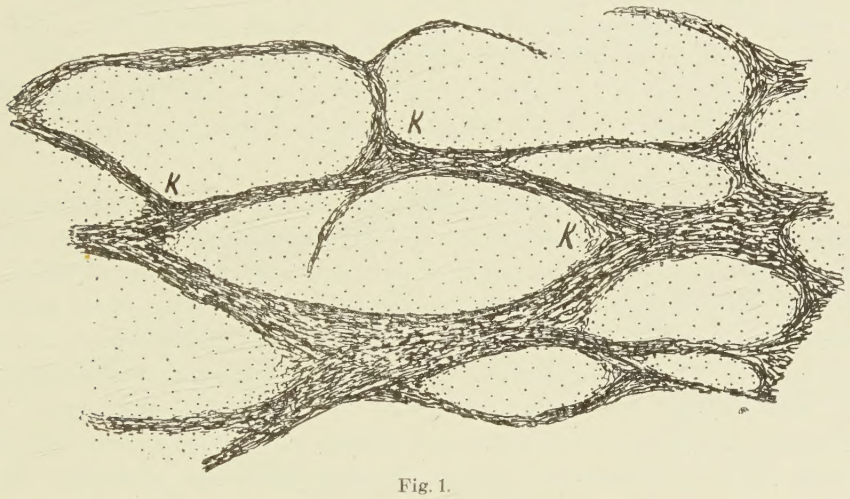


Fig. 1.
Knollenschichten bei Morschach. $^2/_5$ natürl. Größe.
K = Kreuzungsstellen mit durchfließender Streifung des Grünsandes.

Schichtgruppe wird noch vielfach ein zusammenfassender Namen benützt, nämlich Gault.

Die Gesteine bestehen abwechselnd aus grünsandigem Kalk, Grünsand, Echinodermenbreccie und Mischungen derselben, behalten aber immer eine mehr oder weniger kalkige Grundmasse Am eigentümlichsten ist das Auftreten von Kalkpartien abwechselnd mit Grünsandschlieren, wie das in den Turrilitenschichten und besonders in den oberen Schichten des Albien, in den Knollenschichten, der Fall ist.

Fig. 1 stellt eine Stelle der Gesteinsoberfläche aus der Nähe von Morschach dar. Die knolligen Partien bestehen aus Kalk mit regelmäßig zerstreuten Quarz- und Glaukonitkörnchen, die dunklen Streifen fast ausschließlich aus den letztgenannten Bestandteilen. Das Aussehen ist recht auffallend und die Frage erhebt sich, wie diese Kalkknollen entstanden sind.

Man könnte vielleicht an Gerölle denken; eine andere Erklärung aber deutet die Knollen als Konkretionen, eine dritte als Verfestigungen am Meeresboden. Die Kalkpartien sind meistens länglich oval und an der Oberfläche etwas gegen die Grünsandschlieren zurückgewittert. Ihre Begrenzung ist besonders eigentümlich: während die Längsseiten meistens eher scharf abgegrenzt sind, zeigen die Schmalseiten oft mehr einen allmählichen Uebergang zwischen Grünsand und Kalk. Gerölle aber würden eine allseitig gleichartige Begrenzung zeigen, und die Lage der Knollen deutet auch keineswegs auf eine Verfrachtung hin. Die ungleichartige Begrenzung der Knollen spricht auch gegen Entstehung durch Konkretion. **Arn. Heim** schreibt über diese Frage (pag. 278): „Das Vorhandensein dichter Kalksubstanz mit massenhaft radialstrahligen Foraminiferengehäusen, die zum Teil noch gut erhalten sind, beweist, daß die Kalkknollen nicht als echte Konkretionen aufgefaßt werden können. Zweifellos sind die konkretionsartigen Knollen nicht sekundär entstanden. Sie müssen sich schon im unverfestigten Sediment am Meeresgrund herausgebildet haben. Nähere Anhaltspunkte, wie sich derartige Sedimentationsvorgänge abspielen, fehlen uns noch vollständig".

Zwar behauptet Arn. Heim nicht, daß es Konkretionen sind, aber er nennt die Knollen konkretionsartig und glaubt, daß sie sich im unverfestigten Sediment am Meeresboden gebildet hätten. Es wird also die Idee der Konkretion nicht verlassen, sondern nur verlegt. Man geht in diesem Fall von den Kalkknollen aus und der Grünsand wird als das Gewöhnliche, als das Sediment angesehen. Eine genauere Betrachtung läßt aber gerade die Grünsandpartien als fremdartig erscheinen. Sie schlängeln sich in Schlieren durch das Gestein und zeigen vielfach Streifen, welche durch die Kreuzungsstellen hindurchzufließen scheinen. Diese Streifung könnte man für Schichtung halten. Schichtung aber verlangt eine Ausbreitung des Materials in horizontaler Richtung und hätte nie so geschwungene Bogen hervorgerufen, wie Fig. 1 sie zeigt.

Auch Fig. 2, welche zwei Partien der Turrilitenschicht aus der Mürtschendecke am Walensee darstellt, zeigt klar ersichtlich, daß keine Schichtung vorliegt, und daß nicht die Kalkpartien, sondern die Grünsandschlieren größeres Interesse verdienen. Das Verschwemmen der Formen ist hier typisch, während es bei den Knollenschichten erst angedeutet ist. Die Knollen der Turrilitenschicht sind sehr wenig scharf begrenzt, und die Schlieren erscheinen stellenweise schmal und dicht, stellenweise breit und locker. Auffallend ist innerhalb der Schlieren eine fließende Richtung, aber sie ist nicht als eine Folge der Sedimentation zu betrachten. Wie bei den Knollenschichten sind die Schlieren höchst eigentümlich gebogen und zeigen eine durchfließende Streifung auch an den Kreuzungsstellen. Logischerweise redet man bei diesem

Gestein nicht mehr von einem Grünsand mit Kalkknollen, sondern von einem Kalkstein mit Grünsandschlieren.

Wenn wir dazu gelangen, die Kalkpartien als das weniger Absonderliche anzusehen, so erhebt sich die Frage gerade nach der Entstehungsart der Grünsandschlieren. Die Antwort auf diese Frage lautet: Diese

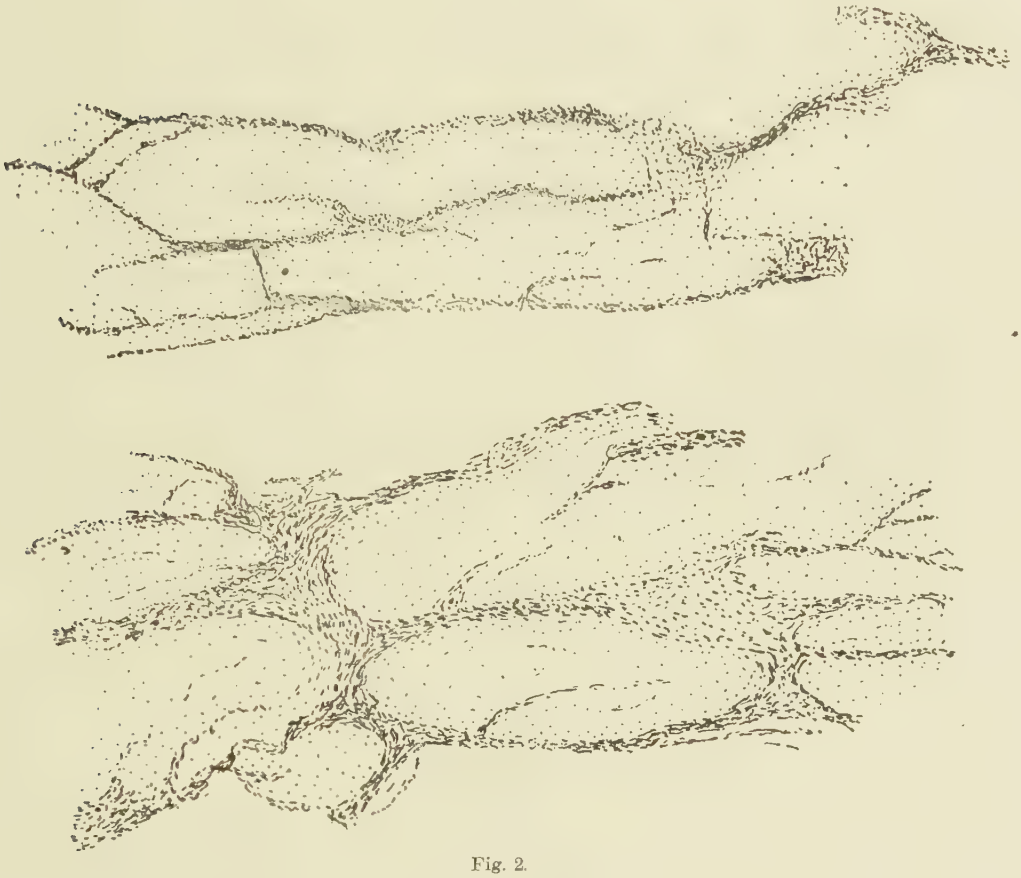


Fig. 2.
Turrilitenschicht, obere und untere Hälfte. Gänsestad, Mürtschendecke. $^1/_2$ natürl. Größe.

Grünsandpartien sind sekundär im Kalkstein entstanden infolge der auflösenden Tätigkeit des Wassers, wobei die unlöslichen Komponenten in den Lösungsbahnen zurückgeblieben sind. Die geschwungenen Grünsandschlieren, sowie die ungleichartige Begrenzung der Knollen, lassen sich leicht als Erscheinungen der Auflösung erklären. Eine solche Erklärung wäre freilich nicht möglich gewesen, ohne Kenntnis ähnlicher Erscheinungen in der senonen Kreide des holländischen Limburgs. Von besonderer Bedeutung ist, daß sich in Limburg die Auflösung, welche das Gestein innerlich umwandelte, auch äußerlich durch die Geländegestaltung nachweisen läßt. In Holland

handelt es sich um einen Prozeß, der noch immer fortschreitet, während im Deckengebiet der Alpen die Umwandlung abgeschlossen ist. Die klaren Verhältnisse in Limburg sollen vorerst in Kürze besprochen werden, denn aus ihnen wird das Verständnis für die schweizerischen Verhältnisse sich von selbst ergeben.

KAP. II.

Auflösungserscheinungen im holländischen Limburg.

Südöstlich von Maastricht befindet sich ein Kreidegebiet, das durch seine denkwürdigen Fossilfunde, besonders des Mosasaurus, schon früh bekannt wurde. Die Kreideschichten liegen auf karbonischen Schiefern, und fallen fast ungestört 2—4° N. W. ein. Sie verschwinden dort unter dem Tertiär, wo das nördlich gelegene Bruch- und Schollenland einsetzt. Ueber den Kreideschichten lagern tertiäre Sande und die Schotter des diluvialen Maasdeltas. Die Maas und ihre Seitenflüsse haben sich später in diese Deltafläche breite Täler gegraben und das Land zu einer wellig-hügeligen Hochebene modelliert. Die Kreideschichten sind senonen Alters und ihre Ausbildung ist durchaus reich und mannigfaltig, wie die folgende Tabelle nur ungenügend zur Darstellung bringen kann.

Oberes Senon *mit Belemnitella mucronata*	Kreide von Maastricht	Tuffkreide mit großen Austern, Tuffkreide mit Bänken autochthoner Bryozoen und mit Muschelbänken, Tuffkreide homogen, Tuffkreide mit Dentalium-Schicht und allochthonen Bryozoen, Tuffkreide mit schwarzen, bis metergroßen Feuersteinen, Tuffkreide mit kleineren, schwarzen Feuersteinen, Kunrader Kalk (zusammenfassender Name),
	Kreide von Gulpen	Weiße Kreide mit schwarzen verzweigten Feuersteinknollen, Zwischenschicht, glaukonitreich mit vereinzelten Geröllen, Weiße Kreide ohne Feuersteine, Glaukonitkreide = Grünsandbank mit vielen Geröllen und zahllosen Belemniten,
Unteres Senon *mit Belemnitella mucronata und Actinocamax quadratus*	Grünsande von Herve	Wechsellagerung von grünsandigen Muschelbänken, Glaukonitkreide, weißer Kreide und mergeligen Kreideschichten,
	Aachener Sande	Sande mit violetten Tonlinsen, Muscheln und Holzresten.

An Hand einiger Figuren soll nun das Wichtigste erklärt werden.

Feine, tonige Schichten *a* mit reichlichem Limonit- und Glaukonitgehalt durchqueren eine Kreidewand (Kreide von Gulpen). Sie hängen mit einer Auflösungstasche *A* zusammen, die mit dem gleichen Material gefüllt ist und außerdem noch Feuersteine und teilweise ausgelaugte Belemniten enthält. Weiter beobachten wir, daß diese Schichten eine kleine Verwerfung im Gestein schneiden. Hieraus ergibt sich klar ihre sekundäre Natur, und ihr Zusammenhang mit der Tasche läßt auch die Art ihrer Entstehung erkennen. Sie wurden durch Auflösung unter Zurücklassung der unlöslichen Komponenten gebildet.

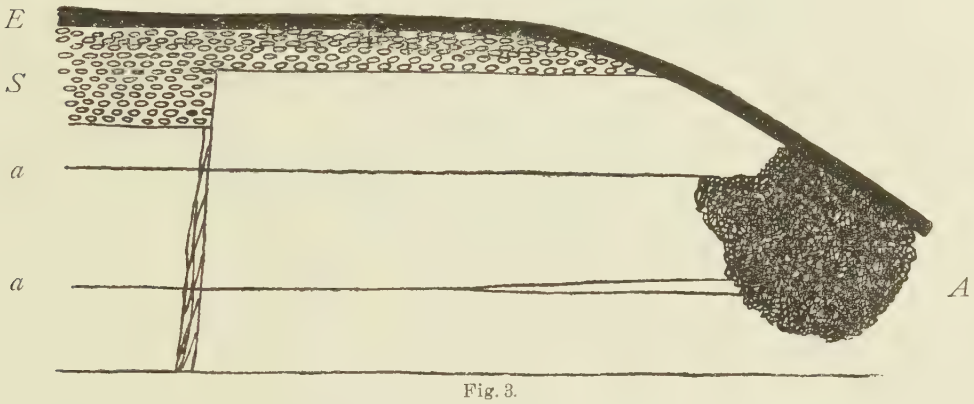


Fig. 3.

Pseudoschichten (a) in der Gulpener Kreide schneiden eine kleine Verwerfung und hängen mit einer Auflösungstasche (A) zusammen. Höhe der Wand: 5 m. Süd-Limburg.
E: Erdschicht der Oberfläche. S: Diluvialer Maasschotter.

Eigentümlich und sehr bemerkenswert ist, wie bei diesem Vorgang gewisse horizontale Flächen bevorzugt wurden, wodurch Pseudoschichten entstanden. Gleichartige Vorkommnisse beobachten wir im Kunrader Kalk, wo sich stellenweise eine scharfe Wechsellagerung von harten Kalkbänken und Glaukonitschichten zeigt.

In Fig. 4 verrät das plötzliche Abbrechen einer Kalkbank den sekundären Charakter der Grünsandschicht *A*. Bei einem so feinen Material wäre ein langsames Auskeilen eingetreten, wenn Sedimentation die Bildung bedingt hätte. Auch würde im Falle einer primären Ablagerung der Grünsand nicht so eigentümlich in die Unterlage eingedrungen sein, wie dies die Schicht *B* zeigt. Die abgebildeten, kleinen Taschen sind gleichfalls infolge der Auflösung entstanden. Außerdem ist die grünweiße Streifung innerhalb mancher Glaukonitschicht *(A)* keine gewöhnliche Kreuzschichtung. Das Muster deutet nicht auf Schwerewirkung, sondern wir sehen immer abbrechende, schneidende Linien. Sie verdanken ihre Entstehung dem Widerstand des Kalkes, gegenüber der auflösenden Tätigkeit des Wassers, wobei das Gestein in feinsten Fetzen

erhalten blieb und so eine Schichtung hervorrief. Dabei lassen sich alle Uebergänge zu den großen Kalkbänken beobachten. Näher bei der Oberfläche zeigen sich Grünsandmassen, deren sekundäre Natur ganz

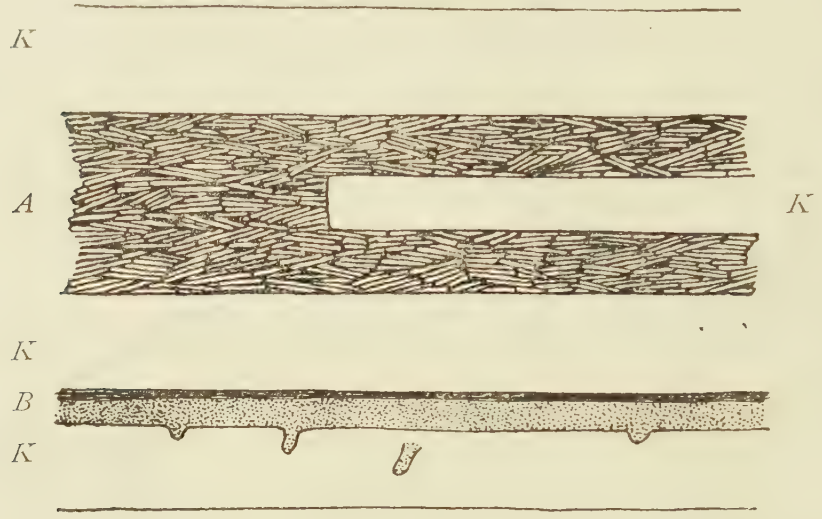


Fig. 4.

Glaukonitsand bildet Pseudoschichten im Kunrader Kalk. Süd-Limburg. $^1/_{12}$ natürl. Größe. K: Kalkbänke. A: Glaukonitsandschicht mit grünweißer Streifung. B: Glaukonitsandschicht mit Tonschicht und kleinen Vertiefungen in der Unterlage.

augenscheinlich ist. Lange, kartondünne Fetzen des Gesteins liegen regellos in der Grundmasse, welche aus kalkhaltigem Grünsand besteht, der als Rückstand des Kalkes zu betrachten ist.

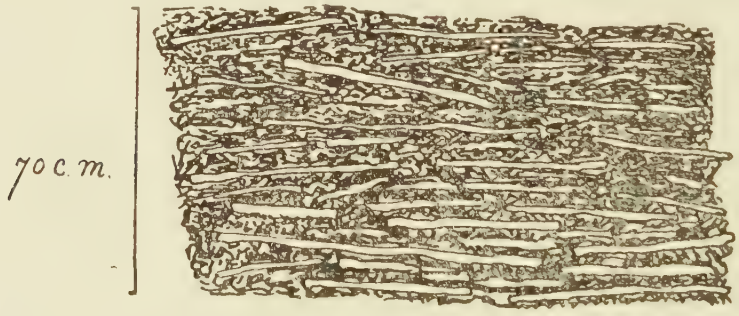


Fig. 5.

Kunraderkalk, in der Nähe der Oberfläche weitgehend aufgelöst; dünne Kalkplatten bleiben im Grünsand zurück. Süd-Limburg.

Auch hier zeigt sich horizontaler Verlauf der Auflösungstätigkeit mit Bildung von Pseudoschichten.

Der Prozeß kann soweit fortschreiten, daß schließlich nur Grünsand zurückbleibt, wie es hie und da bei den Grünsanden von Herve der Fall ist.

Das Beispiel der Fig. 6 zeigt, wie eine solche Schicht in Form von eigentümlichen Röhren in ihre Unterlage eindringt. Gewöhnlich hat sich kein reiner Grünsand gebildet, sondern im Grünsand liegen ovale Kalkknollen. Bei diesem Gestein wechselten härtere Kalkbänke mit weicher Kreide und mergeligen Kalkschichten ab. Gerade infolge dieser verschiedenen Ausbildung gestaltete sich die Gesteinsumwandlung sehr mannigfaltig, weil in vertikaler Richtung die Durchlässigkeit und Auflösungsmöglichkeit sehr verschieden waren. Das Liegende einer solchen

Fig. 6.

Grünsandschicht des unteren Senon mit Knollenbildungen und Taschen, entstanden durch Auflösung. Süd-Limburg. Skala 1 : 30.

Grünsandschicht wird meistens von weicher, etwas mergeliger Kreide gebildet. Die Aushöhlungen in dieser Unterlage lassen sich mit denen in Fig. 4 vergleichen, nur daß dort ein hartes Gestein vorliegt, hier aber ein weiches, was der Auflösung viel tiefer einzudringen gestattete. Die ovalen Flecken, die den Eindruck einer Schichtung hervorrufen, könnte man allenfalls als Kalkgerölle deuten, dagegen aber sprechen die verschwommenen Grenzen. Es sind Gebilde, die den Kalkfetzen der Fig. 5 entsprechen, nur daß hier die weichere Art des Gesteins auch weichere Formen bedingt hat. Die Auflösung schreitet allseitig nach der Mitte der Knollen vor; jeder einzelne ist ein Widerstandzentrum, das von der

Auflösung angegriffen wird. Nach oben wird eine solche Grünsandschicht allmählich kalkreicher und geht schließlich in die eigentliche Kreide über. Das Abnehmen des Glaukonitgehaltes nach oben in der ganzen Schicht ist dem Abnehmen nach der Mitte jeder einzelnen Kalkknolle gleich; beide weisen auf das gleichmäßige Fortschreiten der Auflösung hin. Auch die hängende Kreideschicht hat man sich schon weitgehend umgewandelt zu denken. Diese Art der Auflösung, wobei das Gestein im Ganzen angegriffen wird, wäre diffuse Auflösung zu nennen.

Wir werden die Tätigkeit des Wassers noch besser verstehen, wenn wir den Zusammenhang zwischen innerer und oberflächlicher Auflösung einsehen. Hier zeigt sich besonders ein scharfer Gegensatz zwischen der Gulpenerkreide und der Tuffkreide von Maastricht. Die Gulpenerkreide hat eine auffallend regelmäßige Oberfläche, bedeckt von einer dunkelbraunen Verwitterungsschicht, und wird nur selten von größeren Einbuchtungen durchsetzt. Die Tuffkreide dagegen zeigt viele tiefe und runde Schächte, welche senkrecht nach unten stoßen.

Die Kreide von Maastricht ist ganz anders geartet: sie fühlt sich stets rauh und trocken an, und fällt bei der Verwitterung sandig auseinander. Sie besteht nämlich meist aus feineren bis gröberen organogenen Teilchen und Trümmerchen, enthält massenhaft Bryozoen, Echinodermen, Mollusken und Protozoen. Selten findet man Gesteine mit so zahlreichen und schönen Fossilien. Die Gulpenerkreide dagegen ist fein und pulvrig. Wenn es geregnet hat, wird sie gänzlich durchnäßt und fühlt sich weich und plastisch an. Sichtbare Schalenteilchen und größere Kalkpartikel sind selten, die Grundmasse wird von einem feinen Pulver gebildet. Diese Weichheit bedingt eine gewisse Plastizität, die eine charakteristische Reliefbildung an der Oberfläche ausschließt. Die Tuffkreide wird auch, aber nur lokal, angegriffen. Das Wasser sammelt sich an den tiefsten Stellen, dort löst es den Kalk auf, und diese Partien senken sich allmählich. Dadurch wird es auch verständlich, daß horizontale Schichten, wie in Fig. 1, in der Gulpenerkreide höchst selten sein müssen, ausgenommen dort, wo das Wasser auf einen Widerstand stößt. In geringem Maße ist das der Fall bei einer Zwischenschicht, welche den Uebergang von Gulpenerkreide ohne Feuersteine zu einer solchen mit schwarzen Feuersteinknollen darstellt. Viel deutlicher aber wird die Erscheinung an der Basis dieser Formation, wo sich ein typischer Grünsandhorizont, die „Glaukonitkreide", befindet. Die Kreide von Herve als Ganzes hat dem Wasser einen größeren Widerstand entgegen gebracht, und infolgedessen hat sich an deren Oberseite diese typische Schicht ausgebildet, deren Mächtigkeit anderthalb und mehr Meter betragen kann. Der primäre Gesteinswechsel ändert auch die Art der sekundären Umwandlung. Diese Tatsache erschwert

aber das Verständnis nicht unbeträchtlich, denn man ist geneigt, die grünsandige Zwischenschicht als eine primäre Uebergangsbildung zweier Gesteinsfolgen zu betrachten, besonders, weil noch eine Menge Gerölle darin enthalten sind. Diese aber wurden bei der Auflösung gleichfalls im Grünsand konzentriert. Man findet nämlich Stellen, wo die Anhäufung noch nicht so weit fortgeschritten ist und die Gerölle mehr in vertikaler Richtung zerstreut sind. Hätte die Auflösung hier gleich intensiv wie andererorts gewirkt, so wäre die gleiche Konzentration erreicht worden. Diese Schicht ist auch außerordentlich reich an Belemniten. Man findet deren hunderte beisammen, welche meistens beschädigt und oft zerbrochen sind. Man könnte sich ein ursprünglich massenhaftes Vorkommen oder eine Anhäufung als Gerölle am Meeresboden denken. Doch auch hier hat nur die Konzentration infolge Auflösung des Kalkes einen solchen Reichtum herbeigeführt. Entscheidend ist die Stellung der Belemniten im Gestein. Sie liegen senkrecht oder schief, jedoch selten horizontal, welches die natürliche Lage solcher langrunden Gebilde am Meeresboden sein würde. In der Maastrichterkreide finden wir sie auch wirklich horizontal. In der Glaukonitkreide hingegen kamen sie durch das Nachsinken, das bei diesem Auflösungsprozeß stattfinden mußte, in diese verschiedenen Stellungen. Auch die Hauptmasse der Gulpenerkreide ist schon weitgehend angegriffen und umgewandelt worden, wenn auch noch weit entfernt von völliger Entkalkung. Wie bei der Kreide von Herve hat eine starke diffuse Auflösung stattgefunden.

Noch ein paar Worte über den Einfluß der Auflösung auf das ganze Kreidegebiet, weil wir dadurch die vorhergehende Erklärung aufs schönste bestätigt finden werden. Wenn nämlich diese Erscheinungen durch Auflösung entstanden sind und die Kreide bei dieser Auflösung in sich zusammengesunken ist, dann muß sich dies in der Lage der hängenden, unlöslichen Schichten, des tertiären Sandes und des diluvialen Schotters äußern. Und tatsächlich sind nun die Unregelmäßigkeiten in der Lage dieser Schichten besonders auffallend. Diese Unregelmäßigkeiten betreffen sowohl die Art der Auflagerung, als auch die Lage der Deckschichten im ganzen.

In Fig. 7 sehen wir diluvialen Schotter (s) auf Gulpenerkreide mit Feuersteinen (k). Undeutlich geschichtete Kiesmassen liegen in eigentümlichen Bogen auf der Kreide; aber nicht direkt, dazwischen befindet sich eine Schicht (r) mit vielen Feuersteinknollen und härteren Kalkbrocken in einer mergeligen Materie. Diese Schicht fehlte bei der Ablagerung der Schottermassen, denn ein so lockeres Material wäre zweifellos weggeschwemmt worden, während es sich jetzt allen Formen der Kreideoberfläche anpaßt. Auch hätte der Kies allfällige Vertiefungen der Oberfläche erst ausgefüllt und wäre nachher horizontal abgelagert

worden. Es ist klar, daß wir es hier mit einer großartigen Umwandlung zu tun haben. Die Kreideschicht wurde unter dem Schotter aufgelöst und die Feuersteine blieben als Zeugen dieses Geschehens zurück. Der Schotter sank nach und verlor infolgedessen seine Schichtung fast vollständig.

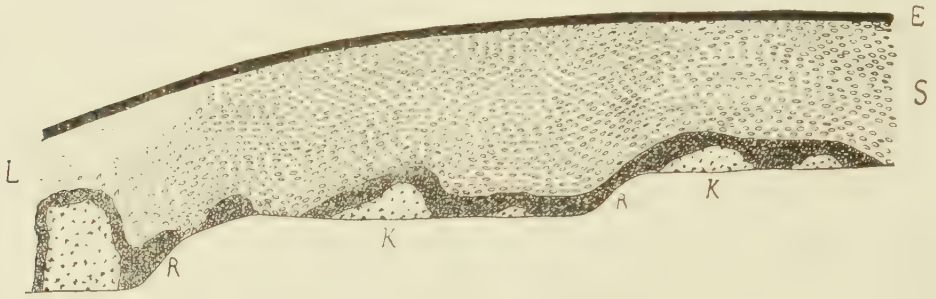


Fig. 7.

Bildung einer Rückstandschicht (R) infolge der Auflösung feuersteinreicher Kreide (K) unter einer ursprünglich horizontalen Schotterfläche (S). Süd-Limburg.
R: Mergelige Rückstandschicht mit vielen Feuersteinen, Fossilien und harten Kalkstücken.
E: Erdschicht der Oberfläche.
L: Lehm, Sand und Schotter, bei der Auflösung nachgesunken.
Höhe der Wand 7 m.

Wollen wir die Aenderung der Lage im ganzen verstehen, so müssen wir uns erinnern, daß das Gebiet ein Teil des diluvialen Maasdeltas ist, welches später von der Maas und ihren Seitenflüssen durchschnitten worden ist. Daher befinden sich zwischen den Flüssen einzelne Segmente der früheren Hochebene, deren jedes eine Schottermütze trägt. Natürlicherweise erwartet man, daß die einzelnen Schotterinseln in ein und derselben Ebene liegen. Statt dessen liegen sowohl die Schotterschichten, wie auch die Kreideschichten an den beiden Talseiten meistens auf verschiedener Höhe. Diese augenfällige Tatsache erweckt die Vermutung, daß alle diese Taleinschnitte mit Brüchen zusammenfallen. Dann aber wäre diese Annahme für jedes Tal in diesem Gebiet gültig, denn fast überall gibt es solche Höhendifferenzen. Eine solche Annahme scheint mir aber ganz verfehlt, um so mehr als in den Zwischengebieten keine Störungen auftreten. Diese Höhenunterschiede lassen sich durch die Auflösung viel einfacher erklären. Keines dieser mehr oder weniger gesonderten Gebiete weist einen Abfluß an der Oberfläche auf. Bei jedem muß also das Wasser unterirdisch seinen Weg finden. Dieser unterirdische Abfluß muß verschieden sein je nach Größe und Gestaltung des Gebietes. Weil mit den Abflußbedingungen auch die Auflösung sich verändert, muß sich die Einwirkung derselben also notwendigerweise an beiden Talseiten verschieden äußern.

Auch in ein und demselben Gebiet ist die Höhenlage des Schotters derart wechselnd, daß man sie nur als Folge der Auflösung erklären kann. Die Schotterschichten senken sich nämlich allmählich und allerseits nach den Tälern und gleichfalls nach den Seitentälchen und deren Verzweigungen. Man sieht deutlich, daß es sich nicht um etwas Ursprüngliches handeln kann, besonders noch, wenn man bedenkt, daß die jetzige Lage des Schotters eine gewisse Abhängigkeit von dem Verlauf der Flüsse zeigt. Von diesen sollte aber die Lage der Deltafläche ganz unabhängig sein, denn die heutigen Flüsse haben diese Fläche erst später angeschnitten. In dem Gebiet zwischen der Maas und ihrem Seitenfluß, der Geul, sehen wir die Schotterfläche am niedrigsten und mit dem geringsten Gefälle an der Maasseite, während genau die gleiche Terrasse an der Geul viel höher liegt und viel stärker fällt. An der Maasseite fällt der Fluß von 45 auf 40 m, der Schotter von 115 auf 110 m; an der Geulseite der Fluß von 130 auf 40 m, die Schotterterrasse von 170 auf 110 m. Dieser Unterschied ist so bedeutend, daß man verschiedene aber ganz ungenügende Erklärungen versucht hat. Die Abhängigkeit der Schotterterrasse von den Talrinnen deutet auf die Ursache der Aenderung hin, nämlich auf das Wasser. Jedes Gebiet hat seinen eigenen unterirdischen Abfluß nach den Tälern. Im Laufe der Zeit hat sich für jedes Abfluß-System ein Miniaturbergland mit eigenen Wasserscheiden herausgebildet. Es ist verständlich, daß dabei der tiefste und größte Fluß, die Maas, den größten Teil des absickernden Wassers an sich gezogen hat. Gleichzeitig hat die Maas auch die Wasserscheide so weit als möglich von sich weg verlegt. Nun ist aber das abfließende Wasser auch das auflösende und umwandelnde Agens. Infolgedessen findet dort die stärkste Lösung statt, wo das meiste Wasser passiert. Das ist der Fall an der Maasseite. Daher liegt der Schotter hier auch am niedrigsten und verläuft gleichmäßig den Fluß entlang. Die Wasserscheide aber wurde in die Nähe der Geul gedrängt, nach welchem Fluß die Schotterkappe sich ebenfalls, wenn auch in geringerem Maße, gesenkt hat.

KAP. III.

Betrachtung über die Auflösung.

In Limburg bekommen wir auf klare und eindeutige Weise Bescheid über die Wirkung der Auflösung sowohl im Kleinen, als auch im Großen. Der Einfluß des Regenwassers auf die Kreideoberfläche ist besonders durch die Arbeiten **Van den Broek's** allgemein bekannt und anerkannt worden. Man ist aber nicht so leicht gesonnen anzunehmen, daß das Wasser noch in größerer Tiefe eine derartige Wirkung ausübt.

Kalkkarbonat wird von destilliertem Wasser nur in sehr geringer Menge aufgenommen (höchstens 1 Teil $CaCO_3$ auf 30000 Teile H_2O), in bedeutend höherem Grade aber von kohlensäurehaltigem Wasser (durchschnittlich 1 Teil auf 5000 Teile H_2O), und zwar als Bikarbonat.

Regenwasser enthält etwas, allerdings wenig, CO_2. Aber es nimmt solches reichlich auf beim Eindringen in den Boden, der infolge Verwesung organischer Substanzen meistens beträchtliche Mengen dieses Gases enthält. Auch wenn das kohlensäurehaltige Wasser eine Strecke weit in das poröse Gestein hineindringen und nicht alle Kohlensäure sofort an der Oberfläche der Kreidemasse verlieren würde, dann könnte das nur einen geringfügigen Einfluß ausüben und würde sicher nicht zur Erklärung genügen. Um eine so tiefgehende Wirkung verstehen zu können, müssen wir einen andern Erklärungsgrund suchen, und diesen erblicke ich in der Kohlensäure der Bodenluft. Diese Bodenluft hat eine ganz eigene Zusammensetzung und zwar bildet CO_2 den Hauptbestandteil. Aus den Untersuchungen von **Pettenkofer** geht hervor, daß ganz allgemein mit der Tiefe der O-Gehalt ab-, der CO_2-Gehalt zunimmt. Aus Bohrlöchern kommt fast ausschließlich CO_2 zutage. Diese Bodenluft steht mit dem Wasser in ständiger Berührung und ihr wird das Wasser auch in größerer Tiefe stets wieder Kohlensäure entnehmen können. Deshalb kann es sich auch immer wieder auflösend betätigen.

Das auflösende Wasser findet verschiedene Gesteine vor, die je nach ihrer Art reagieren. Jedes Gestein ist vorbestimmt auf gewisse Art und Weise umgewandelt zu werden: Es hat eine Prädisposition. Diese ist abhängig von seiner Eigenart und von seiner Lage innerhalb der Sedimentreihe. Das Wasser folgt bestimmten Bahnen. Wir können je nach der Richtung eine horizontale, vertikale und diffuse Lösungstätigkeit unterscheiden, welche Fig. 6 miteinander zur Darstellung bringt. Zu der auflösenden Tätigkeit gesellt sich eine konzentrierende. Die unlöslichen Komponenten werden einander näher gebracht, oft sogar in ganzen Schichten vereinigt. In dieser Kreide werden besonders Quarz- und Glaukonitkörner angehäuft; sie bilden zusammen den Grünsand. Ein gewisser Prozentsatz Lehm kommt dazu, ebenso Feuersteine, Gerölle und härtere Fossilien, wo solche anwesend waren.

Die ursprüngliche Sedimentationsfolge wird dadurch sehr geändert. Es bilden sich Pseudoschichten, frühere Schichtgrenzen werden verwischt, scheinbare Grenzen werden neu ausgebildet oder allmähliche Uebergänge verschärft.

KAP. IV.

Die mittlere Kreide in den oberen helvetischen Decken des Walenseegebietes.

Bei der Betrachtung der mittleren Kreide der helvetischen Decken kann man sich an die grundlegenden Ausführungen halten, die **Arn. Heim** in seiner Churfirsten-Mattstock-Monographie gegeben hat. Der nächste Teil dieser Arbeit wird versuchen unter Benützung dieser vortrefflichen Stratigraphischen Grundlage verschiedene, eigentümliche und unregelmäßige Erscheinungen dieser Gesteinsgruppe, auf welche Arn. Heim immer wieder hinweist, zu erklären.

Diese Erscheinungen lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

1. Fremdartige Gesteinsbildung, wie Knollen und Grünsandschlieren.
2. Grenz- und Uebergangserscheinungen in vertikaler Richtung. Eigentümliche Auflagerung der Sedimente, oft mit scharfer Grenze und karriger Oberfläche, oft mit allmählichen Uebergängen, wobei sich manche Fragen über Kontinuität und Diskontinuität der Ablagerung ergeben.
3. Mächtigkeitsschwankungen. Neben gesetzmäßigen Schwankungen treten unerwartete Unterschiede und lokale Unregelmäßigkeiten auf.

Alle diese Erscheinungen tragen nur so lange einen abweichenden Charakter, als man sie für primäre Aeußerungen der Ablagerung hält. Sobald man aber erkennt, daß sie sekundärer Natur sind, so lassen sie sich mühelos in das Gesteinsbild einordnen.

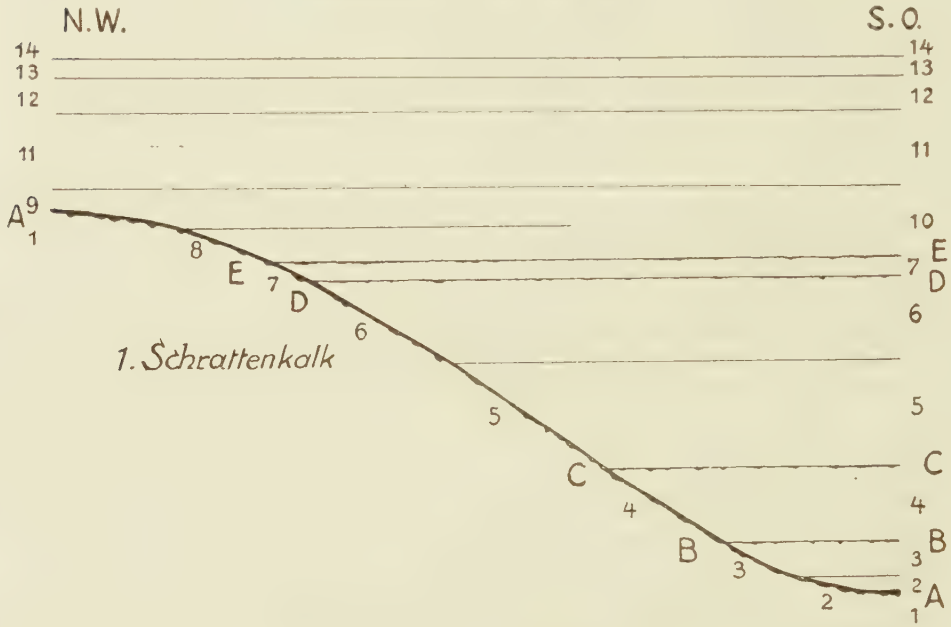
Fig. 8 zeigt das Bild der Sedimentfolge im Walenseegebiet. Es kann sich nicht darum handeln, eine ausführliche Besprechung der Sedimente zu geben Diese findet man in der Arbeit von Arn. Heim, der speziell in den Figuren 65 und 89 eine übersichtliche Darstellung der Sedimentreihe bringt.

Das konstante, untere Glied der Schichtreihe ist der Schrattenkalk. Dieses Gestein läßt sich leicht erkennen und ist oft reichlich mit Fossilien durchspickt. Die Oberfläche ist meistens unregelmäßig und uneben gestaltet. Hie und da wird sie von einer grünsandigen Fossilschicht, der Luiterezug-Fossilschicht, bedeckt. Darauf folgen Luiteremergel, dann die eisenschüssig-sandigen Gamserschichten, die Brisischichten, unten als Brisi-Glaukonitsandstein, oben als Brisi-Breccie ausgebildet. Ueberlagert werden diese von den fossilführenden Durchschlägischichten, einem Uebergangsglied von geringer Mächtigkeit. Diesen folgen die kalkigen grünsandhaltigen Flubrig- und Twirrenschichten, im Südosten von den Niederischichten ersetzt. Es folgt ein oft wenig ausgesprochener Fossilhorizont,

die Lochwaldschicht, und dann erscheinen die schon eingehend besprochenen Knollenschichten (= Aubrigschichten), die Turrilitenschichten und die Ueberturrilitenschichten. Diese schließen den sog. Gault ab und werden von dem sehr konstanten Seewerkalk überlagert.

Fig. 8.

Darstellung der Ueberlagerung der Schichten der mittleren Kreide auf dem Schrattenkalk im Walenseegebiet. Nach Arn. Heim.



A: Obere Grenze des Schrattenkalkes. Die Schichtgrenzen B bis E sind von Arn. Heim als Diskontinuitäten bezeichnet.

14. Seewerkalk.
13. Ueberturrilitenschicht.
12. Turrilitenschicht.
11. Aubrigschicht = Knollenschicht.
10. Niederischicht, ersetzt im S. O. 9 u. 8.
9. Flubrigschicht.
8. Twirrenschicht.
7. Durchschlägischicht.
6. Brisiechinodermenbreccie.
5. Brisiglaukonitsandstein.
4. Gamserschichten.
3. Luiteremergel.
2. Luiterezug-Fossilschicht.
1. Schrattenkalk.

Ist die primäre Ablagerungsfolge schon sehr mannigfaltig, so wird das Bild infolge der nachträglichen Umwandlungs- und Auflösungserscheinungen noch abwechslungsreicher.

KAP. V.

Lösungserscheinungen in den Knollen-, Turriliten- und Ueberturrilitenschichten.

Beginnen wir mit den Aenderungen, welche die obersten Schichten des Gaultbandes erfahren haben. In Kap. I sind dessen Gesteine abgebildet

und ausführlich besprochen worden. Wir sind dazu gekommen, nicht die Knollen, sondern die Grünsandpartien als eigenartige Gebilde zu betrachten und haben zum Schluß gesagt, daß sie sekundärer Natur und durch die auflösende Tätigkeit des Wassers entstanden seien. In der Limburgischen Kreide haben wir ähnliche Knollenbildungen gesehen (Fig. 6) mit den gleichen verschwommenen Grenzen, die das Vordringen des Wassers anzeigen. Diese Auflösung äußert sich in bestimmten Bahnen und zeichnet ganz andere Linien im Gestein als die Sedimentation. Weil sie im Gesteinsinnern tätig ist, kann sie geschwungene, gleichsam sich überstürzende Bogen bilden und kann ihre Linien durch eigenartige Kreuzungsstellen (Fig. I K.) hindurchziehen, während die Sedimentation eben an diesen Punkten eine Vermischung, einen Ausgleich zustande gebracht hätte. Wird der Widerstand des Gesteins größer, so kann eine solche Bahn plötzlich ihr Ende finden. Umgekehrt kann sie sich teilen, wenn mehrere Richtungsmöglichkeiten vorliegen. Durch solche Gesteinsunterschiede eben erscheint das einemal eine Grünsandschliere scharf und konzentriert, das anderemal undeutlich und verschwommen. Man trifft solche Unterschiede sogar wiederholt an ein und derselben Schliere. Die Frage besteht nur, weshalb die Knollen meist länglich sind und sich in der Schichtrichtung erstrecken und weshalb die zur Schichtung parallelen Grenzen eher scharf, die seitlichen Grenzen eher unscharf geworden sind. Die Erklärung ist einfach: das Wasser folgt eher der horizontalen Längsrichtung, weil sich in dieser das Sediment erstreckt.

Dank der Härte des Gesteins können wir eine mikroskopische Untersuchung an Hand von Dünnschliffen vornehmen. Ein Schliff durch eine Knolle mit angrenzender Grünsandschliere gelegt, zeigt den schon bekannten Gegensatz: an der einen Seite eine Anhäufung von Körnern mit vielen dunkeln Streifen, an der andern Seite die helle Kalkmasse mit vereinzelten Quarz- und Glaukonitkörnchen. Weiter bemerken wir, daß erstens die Körner innerhalb des Kalkes und außerhalb desselben vollkommen identisch sind, und daß zweitens die Partien durch Uebergänge miteinander verbunden sind.

In der eigentlichen Knolle bilden feinstes Pulver, Bröckchen und Partikelchen der Kalksubstanz eine leicht grauliche Grundmasse, aus welcher gröbere Partikel, Schalenreste und Foraminiferen sich abheben. In dieser Grundmasse liegen einzelne, zerstreute Quarz- und Glaukonitkörner. Nähern wir uns dem Grünsande, so scheinen die Körnchen mehr angehäuft, und wir glauben den Kalk stellenweise etwas dunkler gefärbt zu sehen. Sogar bemerken wir schwache Streifen. Dieses Bild wird schärfer, kleine Korngruppen liegen an dunkeln Linien. Dann kommt der Grünsand, Korn liegt an Korn, und schwarze Streifen winden sich überall hindurch. Die Körner sind mehr oder weniger in der gleichen

Richtung gelagert. Wir finden auch gröbere Kalkstückchen dazwischen und dunkel gefärbte Reste der Grundmasse, aber Foraminiferen sehen wir fast keine.

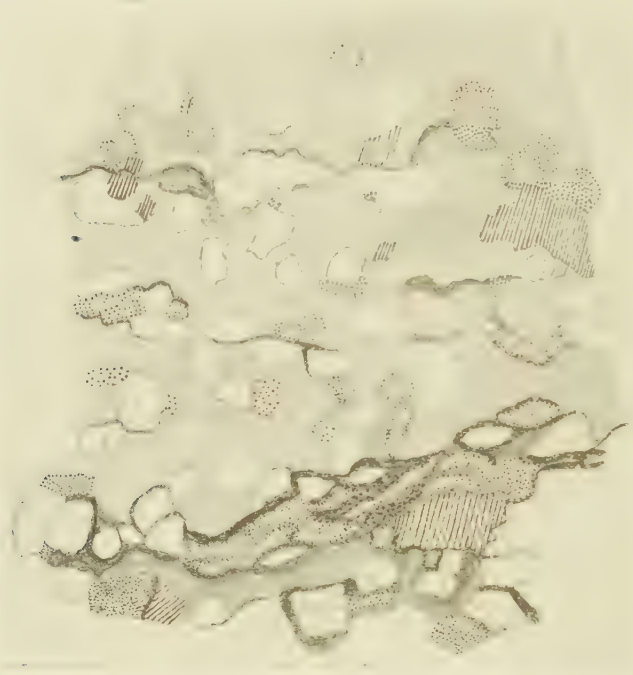


Fig. 9.
Schnitt durch eine Kalkknolle und Grünsandschliere der Aubrigschichten. Vergr. 1:75.
Punktiert: Glaukonit. Schraffiert: größere Calcitstückchen.
Grau: Grundmasse mit dunkeln Tonstreifen.

Das sind die Beobachtungen, wie wir sie aus Fig. 9 klar ersehen. Daraus resultieren verschiedene Schlüsse. Erstens ist es klar, daß wir in den Knollen keine ursprünglich so ausgebildete Komponenten vor uns haben, sonst wäre kein derart auffälliger Uebergang zu sehen. Zweitens können wir darin keine Konkretionen erblicken, denn der Aufbau des Kalkes ist genau so beschaffen wie das Sediment als Ganzes. Das Vorhandensein der Foraminiferen, die regelmäßige Kornverteilung, schließt den Gedanken an Konkretion einfach aus. Ferner die allmählig schärfer werdenden Schmutzstreifen: von ihnen können wir nicht annehmen, daß sie erst in Streifen gelagert waren und während der Konkretion auseinander gezogen wurden, um sozusagen verdünnt und regelmäßig verteilt zu werden. Dies wäre eine totale Umkehrung des Vorgangs: die Streifen sind nicht Anfangs- sondern Endstadien. Wenn man glaubt, die Knollen seien am Meeresboden verfestigt worden, so bleiben genau die gleichen Schwierigkeiten in bezug auf die Erklärung bestehen.

Außerdem müßte man sich fragen, weshalb es nur Foraminiferen im Kalk und fast nicht im Grünsand gibt.

Gehen wir hingegen von der in Limburg gewonnenen Erfahrung aus und betrachten wir das Gesteinsbild als sekundär, so lösen sich alle Schwierigkeiten restlos. Wir gehen dann von einem Kalkgestein aus, das in seiner Anlage einheitlich beschaffen ist, wie etwa der Kalk einer Knolle. In diesem Gestein findet das sich kapillar bewegende Wasser seinen Weg besonders in bestimmten Bahnen und es fängt in diesen seine auflösende Tätigkeit an. Die unlöslichen Quarz- und Glaukonitkörner, dazu die größeren Kalkpartikel, werden konzentriert, während die feinste kalkige Grundmasse in der Hauptsache das Material liefert, das angegriffen und aufgelöst wird. Dieselbe verschwindet zusammen mit den Foraminiferengehäusen, aber nicht spurlos. Es sind ihr, wie jedem Sediment des Meeres, kleinste Tonpartikelchen und Eisenverbindungen beigemischt. Diese werden auch konzentriert und bilden die Schmutzstreifen oder Toneisenhäute.

Wo die Körner mit deutlichen Tonstreifen dicht aneinander liegen, da hat die Auflösung intensiv und durchgehend gewirkt. Wo wir aber noch ein Gemenge von Grünsand und Kalk bemerken, da ist die Auflösung erst im Anfangsstadium. Weil die Bahnen in der Hauptsache der Schichtrichtung nach horizontal verlaufen, sind in dieser Richtung die Längsseiten der Knollen eher scharf ausgeprägt, während ihre Schmalseiten oft einen allmählichen Uebergang zeigen. Mitten in den Knollen lassen sich sogar noch feine Streifen, begleitet von mehreren Körnern, beobachten, ein weiteres Zeichen dafür, daß diese Kalkpartien nicht als Konkretionen anzusehen sind.

Die Körnchen zeigen im allgemeinen keine besonderen Formen, ihre Lage im Kalk ist regellos, in den Schlieren aber sind sie mehr oder weniger nach ihrer Längsaxe geordnet. Diese Anordnung zusammen mit den dunklen Tonstreifen ruft schon äußerlich das Bild einer Streifung hervor. Bei der Auflösung legen sich die Körner quer zur Druckrichtung. Hierbei kann sogar innerliche Umlagerung der Substanz zustande kommen, doch das Anfangsstadium ist eine rein mechanische Lageveränderung der Komponenten.

Hierüber belehrt uns auch Fig. 10. In einem Schliff durch eine Knollenecke sieht man die Lage der gerichteten Komponenten zweier Lösungsrichtungen, die einander unter einem scharfen Winkel schneiden. Einen besseren Nachweis für den sekundären Charakter dieser Erscheinung wird schwerlich zu geben sein.

Sehen wir zu, wie sich diese Verhältnisse in den Turrilitenschichten gestalten. Von diesen sagt **Arn. Heim** (pag. 219): „Die Turrilitenschicht ist ein grünsandiger Kalk. Der Grünsand ist nicht mehr so reichlich wie

im Liegenden, aber bedeutend reichlicher als im Hangenden. Innerhalb der Turrilitenbank selbst nimmt der Grünsandgehalt nach oben ab. Zum Unterschied der Ueberturrilitenschicht finden sich hier noch die bezeichnenden schlierenartigen Anreicherungen des Grünsandes im Kalk, der aber auch selbst gleichmäßig zerstreute Glaukonit- und Quarzkörnchen enthält. Nur im unteren Teil kommt es gelegentlich zur Bildung von Kalkknollen, indem die Grünsandschlieren in der Facies der Knollenschichten das nach oben mehr und mehr kalkig werdende Gestein noch beherrschen.“ Die Beschreibung ist klar, nur in einem Punkt nicht ganz

Fig. 10.

Schnitt durch eine Knollenecke mit zwei sich kreuzenden Richtungen der Auflösungsstreifen. Oben: makroskopisch; unten: mikroskopisch (1:50). Weiß: Quarz. Punktiert: Glaukonit.

einwandfrei. Denn die Ausbildung ist oft typisch knollig, wenn auch die Knollen weniger scharf ausgeprägt sind, als bei den eigentlichen Knollenschichten. Die Körner der Turrilitenschichten zeigen einen größeren Durchmesser. Weiterhin ist das Gestein der Turrilitenschichten in hohem Grade der Auflösung anheimgefallen, und die Körner sind in gleicher Art und Weise angehäuft. Bei den Turrilitenschichten hat wahrscheinlich die bedeutendere Korngröße andere Formen bedingt, sicher aber die größere Spärlichkeit der klastischen Gemengteile. Schon primär muß diesem Sediment im Vergleich mit den Knollenschichten eine wesentlich geringere Körnerzahl eigen gewesen sein, und diese Zahl nimmt innerhalb der Schicht nach oben noch bedeutend ab. In den Ueberturrilitenschichten werden Quarz- und Glaukonitkörnchen noch spärlicher, selten noch in feinen Streifen angehäuft. Schließlich verschwinden sie ganz als Gemengteile beim Seewerkalk.

Die Turrilitenschichten enthalten Fossilien sowohl im Kalk als auch im Grünsand. Daß sich die meisten Fossilien im Grünsande finden, scheint vollkommen verständlich, wenn man annimmt, dieser sei bei der

Auflösung durch Konzentration entstanden. Einzuwenden wäre freilich, daß in diesem Fall auch die Versteinerungen aufgelöst worden wären. Nun schließt aber der Grünsand weiterhin oft knollige, regelmäßig geformte Partien von braungelber Farbe ein. Der Querschnitt eines Seeigels mit erhaltener Schale zeigte das Entstehen solcher Partien. Eine feine Grünsandschliere hatte den Seeigel berührt, und an dieser Stelle war die Schale verschwunden. Der Kalk innerhalb des Umkreises hatte die gleiche gelbbraune Farbe, wie die erwähnten Partien. Diese Beobachtung zeigt, daß es sich bei den regelmäßig geformten, braunen Partien auch um Querschnitte von aufgelösten Fossilien handeln muß. Die Schale ist zwar verschwunden, aber der Umriß blieb, wahrscheinlich infolge einer etwas anderen Zementation, erhalten. Die braungelbe Farbe deutet darauf hin, daß gewisse Eisen-, vielleicht auch Phosphorverbindungen der organischen Substanz den Kalk durchsetzen. Diese Beimischung bedingt, scheint es, eine größere Härte, die sich auch darin äußert, daß die Fossilien aus dem Gestein herauswittern.

KAP. VI.

Fortsetzung der Betrachtung.

Mehrere Gesteine können Knollen bilden.

Es wäre wertvoll, mehr über das Maß der Auflösung zu wissen. Eine zahlenmäßige Bestimmung wird dadurch erschwert, daß erstens die Verhältnisse im Gestein wechseln, zweitens auch die Knollen nicht mehr dem ursprünglichen Sediment entsprechen. Denken wir uns aber im großen ganzen die Körner vorher regelmäßig in der Grundmasse verteilt, so können wir einen relativen Maßstab für die Auflösung gewinnen, wenn wir die Menge der Körner in einer Knolle und im anschließenden Grünsand vergleichen. Eine anscheinend gleichmäßige Gesteinspartie mit einer scharf ausgeprägten Grünsandschliere wurde unter dem Mikroskop nur durch eine enge Spalte beleuchtet. In einer Linie fortschreitend vom Knolleninnern senkrecht auf die Grünsandlinie wurden immer auf gleicher Strecke die Glaukonitkörner, die Quarzkörner und die vereinzelten größeren Kalkpartikel gezählt. Das Resultat zeigt die folgende Tabelle:

Strecke	Glaukonit	Quarz	Kalkpartikel	Strecke	Glaukonit	Quarz	Kalkpartikel
1	3	8	8	8	5	14	10
2	3	7	9	9	19	39	14
3	5	12	8	10	28	42	12
4	5	11	8	11	30	50	12
5	5	7	6	12	33	52	12
6	8	14	13	13	29	43	18
7	7	15	14	14	28	41	16

Die Strecken 1—5 sind gleichartig, sie liegen in dem eigentlichen Kalk der Knolle. Nach 5 mit den niedrigsten Zahlen, bringt 6 eine allgemeine Erhöhung. Die Zahlen steigen in 7 noch etwas an. Wir befinden uns im Vorgebiet der Lösung mit den ersten Anzeichen derselben in Form schwacher Schmutzstreifen und geringer Kornanhäufung (vergl. Fig. 9). Die Strecke 8 bringt wieder eine kleine Erniedrigung, und erst mit 9 setzt eine allgemeine Erhöhung ein, wobei die Zahl der Körner sich verdreifacht. Hier erscheint der Grünsand. In 10, 11 und 12 gehen die Zahlen noch höher hinauf, um aber mit 13 und 14 wieder etwas zurück zu gehen. Nicht in dem Maße erhöhen sich die Zahlen der vereinzelten großen Kalkstückchen, weil viele der Lösung anheim fielen. Das Maximum der Kalkpartikel fällt bezeichnenderweise nicht zusammen mit dem Maximum der Körner auf den Strecken 10, 11 und 12, sondern erscheint dort, wo die Körnerzahlen etwas niedriger sind, bei 13 und 14, und auch bei 9. Ein Vergleich zwischen den ersten fünf Zahlenreihen der Kalkknolle und den letzten sechs der Grünsandschliere ergibt, daß hier auf gleicher Strecke fünfmal so viel Körner vorliegen, wobei wir besonders den Quarz beachten, weil der Glaukonit eher Aenderungen erlitten hat. Die Masse der Kalkknolle müßte sich deshalb bis zu einem Fünftel verringern, oder vier Fünftel müßten aufgelöst werden, um quantitativ den gleichen Grünsand zu erzeugen. Solche Zahlen sind aber, wie gesagt, nur annähernd wichtig. Nur das eine kann gezeigt werden, **dass** eine bedeutende Auflösung stattgefunden hat.

Wir finden das Gestein nicht ausschließlich in knolliger Ausbildung, was auch aus der Beschreibung von Arn. Heim hervorgeht. Er sagt (pag. 277): „In einem sehr feinkörnigen mehr oder weniger schlierigem Grünsandstein sind kalkige Knollen von durchschnittlich Faustgröße eingebettet, die aber auch kopfgroß werden oder sich zu knolligen Kalkbänken vereinigen können".

Außerdem ist dieses Gestein noch als homogener Grünsand ausgebildet, wie in der Mürtschendecke am Walensee. So finden wir bei Gänsestad die Knollenschichten homogen-grünsandig entwickelt, die Turrilitenschichten aber ausgesprochen knollig, woraus man ersieht, daß der Name irreführt.

Die gleiche Schicht zeigt also bedeutende Unterschiede, und wir stehen vor der schwierigen Frage, ob diese Gesteine alle aus dem gleichen Sediment als verschiedene Endpunkte der Auflösung hervorgegangen, oder ob Gesteinsunterschiede primärer Natur für die verschiedene Ausbildung maßgebend gewesen sind. Diese Frage läßt sich nicht sicher beantworten. Heim unterscheidet zwei Gebiete:

1. Das ursprünglich nordwestliche Faciesgebiet, Mürtschenfacies (pag. 282): „Es ist gekennzeichnet durch geringe Mächtigkeit der

Knollenschichten von 1—8 m, wobei lokale Unregelmäßigkeiten vorkommen. Die Stufe der Knollenschichten ist ganz oder teilweise durch homogene, kalkige Grünsandsteine ausgezeichnet".

2. Das ursprünglich südöstliche Faciesgebiet: „Die Mächtigkeit beträgt 8—30 m, die Ausbildung überall mit Kalkknollen und mehr oder weniger gleichförmig über die ganze Mächtigkeit".

Man würde geneigt sein, die Tatsache, daß gerade im Gebiet der homogenen Grünsandfacies die Mächtigkeit geringer ist als bei der eigentlichen Knollenfacies, mit einer intensiveren Auflösung in Verbindung zu bringen. Wir dürfen aber nicht vergessen, daß gerade in nordwestlicher Richtung die Sedimentation allgemein abnimmt, daß also auch die Ablagerung der Knollenschichten primär sehr wohl weniger mächtig gewesen sein kann. Dann aber fragt es sich, ob im Nordwesten nicht ein Sediment vorliegt, das ursprünglich anders geartet war.

Dazu läßt sich folgendes bemerken: Am Gänsestad in der Mürtschendecke findet man den typischen Grünsandstein. Doch sind darin einige Knollen erhalten, die nicht regellos, sondern in gewissen horizontalen Flächen liegen. Diese Tatsache deutet auf primäre Unterschiede innerhalb der Ablagerung, und es ist sehr wohl möglich, daß auch die Sedimentation als Ganzes einem Wechsel unterworfen war, und zwar in dem Sinne, daß die Ablagerung nach dem Nordwesten kalkärmer, dafür reicher an klastischen Gemengteilen wurde. Eine mikroskopische Untersuchung dieser vereinzelten Knollen zeigt eine verhältnismäßig große Menge Körner und im übrigen Gestein die gleichen Lösungserscheinungen, nur mehr allgemein verbreitet und weniger scharf ausgeprägt, als in den Schlieren der knolligen Gesteinsform. Da bei den Turrilitenschichten mit der Abnahme der Körnerzahl auch die Schlierenbildung sich ändert, weitschweifiger wird und keine so typische Knollenbildung mehr hervorruft, so wird bei einer zunehmenden Körnermenge die Knollenbildung wahrscheinlich der Ausbildung eines mehr kompakt-sandigen Gesteins weichen. Dies dürfte eine zwanglose Erklärung sein für die Ausbildung einer homogen-grünsandigen Facies bei den Knollenschichten.

Weil die Ausbildung dieses Horizontes so verschiedenartig ist, so scheint der Name „Knollenschichten", der auf Grund einer einzigen Erscheinung gewählt worden ist, nicht glücklich zu sein. Die älteren Namen: „Ellipsoidischer Gault" von **Kaufmann** und „Ellipsoidischer grünsandiger Kalk" von **Burckhardt** sind gewiß der kurzen Benennung von **Arn. Heim** nicht vorzuziehen. Arn. Heim macht in dieser Hinsicht selber einen Vorschlag, dem sicher beizupflichten ist. Weil die Facies verschieden ist, wäre es, meint er, zutreffender, eine Bezeichnung nach einer typischen Lokalität zu treffen, und, da **E. Ganz** die grünsandige Facies „Aubrigschicht" nach dem großen Aubrig im Wäggital genannt

habe, könnte man besser anstatt von Knollenschichten von Aubrigschichten und deren verschiedenen Facies reden. Diese Namensänderung wäre gewiß ein Vorteil, denn nicht nur die nächst höheren Turrilitenschichten zeigen typische Knollenbildungen, sondern auch die nächst tieferen Twirren- und Flubrigschichten können solche aufweisen. Eine grünsandige Schicht neigt auch hier zur Bildung von Kalkknollen und Bänken, so daß schon äußerlich die Unterscheidung von den Knollenschichten sehr schwierig, ja oft innerhalb einiger Meter fast unmöglich ist. Da wäre eine neue Bezeichnung anstatt Knollenschichten geboten, um einer Verwirrung vorzubeugen, und so wird von nun an in dieser Arbeit der Name „Aubrigschichten" stehen. Das wird um so eher notwendig, weil wir Knollenbildungen in ganz anderem Gestein antreffen können, und zwar auch bei Echinodermenbreccie. Bei Morschach zeigte eine solche typische Knollen. Zwischen hervorstehenden Grünsandschlieren befinden sich zurückgewitterte Kalkpartien der Breccie. Zwar ist eine solche Breccie oft mit Grünsand gemischt und es kann zwischen beiden Wechsellagerung stattfinden, aber dann läßt sich die sedimentäre Entstehung noch immer als Schichtung erkennen. In dem genannten Fall hingegen finden wir eigentümliche Knollen und Grünsandstreifen nach dem Muster der Aubrigschichten eher noch unregelmäßiger. Ein derartiges Vorkommen braucht uns nicht ganz zu befremden, denn die Brisibreccie zeigt auch sonst Kornanhäufungen, die im Mikroskop als feine Schlieren erscheinen und sich bei der Verwitterung von der Oberfläche als feine Linien abheben können. Das in Frage stehende Gestein mit seinen ungewöhnlichen Formen zeigt eine starke Beimischung von Mineralkörnern. Die Knollen sind etwas anders geformt als bei den Aubrigschichten, nicht so oval gerundet, während die Grünsandpartien mehr mit Breccienteilchen gemischt sind. Wir sehen, daß die Knollen in den verschiedensten Richtungen von feinen Schlieren durchsetzt werden, und daß im Grünsand viele kleinere Kalkpartien erhalten geblieben sind, wohl deshalb, weil oft gröbere Schalenteilchen als Widerstandszentren gedient haben.

KAP. VII

Auflösungserscheinungen in Schichten ohne Grünsand: Seewerkalk.

Glaukonit und Quarz waren die Komponenten, die uns die Kenntnis der Lösungserscheinungen vermittelt haben. Weil aber die Lösung nicht von vornherein an Gesteine mit diesen Komponenten gebunden erscheint, so fragt es sich, wie die Lösung sich äußert, wenn jene fehlen. Ein

typisches Beispiel finden wir in nächster Nähe: Es ist der Seewerkalk. Hier sind es eigentümliche, dunkle Häute, welche die Auflösungsbahnen anzeigen. Sie verleihen dem Gestein ein charakteristisches Gepräge, das nicht leicht eine Verwechslung zuläßt.

Hören wir erst auf die Beschreibung, wie besonders **Alb. Heim** und **Arn. Heim** sie von diesem Gestein geben, damit wir von dieser Grundlage aus weitergehen können. Arn. Heim beschreibt (pag. 194) das Gestein folgenderweise: „Dichter, fast chemisch reiner Kalkstein von flasrigen, schwarzen und grauen, tonig-bituminösen Häuten durchzogen, die dem Gestein eine charakteristische, linsige Textur verleihen". Bei der Besprechung des Gesteins wird die Natur dieser Häute gar nicht berührt. Arn. Heim scheint aber an eine sedimentäre Bildung zu denken, was sich aus der folgenden Aeußerung, die wegen der erwähnten Tatsachen besonders interessant ist, ergibt (pag. 205): „Während die roten Seewerkalkbänke anscheinend immer im gleichen stratigraphischen Niveau auftreten, ist im kleinen die Rotfärbung nicht streng auf die Schichtung gebunden. An der Durchschlägi beobachtete ich nämlich, wie manchmal die ziemlich scharfe Abgrenzung des roten Seewergesteins zum weißlichen quer durch die der Schichtlage entsprechenden Seewerlinsen hindurchgeht".

In den anregenden „Gedanken über Schichtung" in der Vierteljahrschrift der Naturforschenden Gesellschaft (1909) schreibt Alb. Heim, indem er die Periodizität gewisser Ablagerungen behandelt, auch ausführlich über den Seewerkalk (pag. 334—335) und sagt: „Der Seewerkalk der helvetischen Zonen der Schweizeralpen ist ein dichter Kalkstein, ganz erfüllt von Foraminiferenschalen. — Der Kalkstein bildet flaserige, knollige Kalkplatten von ca. 0.05 — bis 0.1 m Dicke, die durch schwarze anthrakonitisch-tonige Häute von bloß 0.001 bis 0.002 m von einander getrennt sind. 1000—3000mal wechseln knollige Kalklagen mit schwarzen Tonhäuten ab".

Dann fährt er weiter: „Ist hier der Tonabsatz stetig und langsam aber periodisch übertönt vom Kalkabsatz? ist der Kalkabsatz beständig, der Tonabsatz periodisch? Hier drängt sich eine andere Erklärung auf: Die schwarzen, tonigen Flasern ziehen auch in die knolligen Kalkbänke hinein und durch dieselben hindurch; wir finden sie manchmal nicht nur zwischen, sondern auch in den Kalkbänken, aber immer scharf ausgeschieden vom Kalkstein. Hier mögen beide Absätze gleichzeitig stattgefunden haben: durch die konkretionäre Tendenz des Kalksteins kann vielleicht während der Konsolidation eine diagenetische Entmischung eingetreten sein.

An manchen Orten aber läßt sich die Schichtung im Seewerkalk nicht so erklären, indem stark mergelige Schichten von 00.1 bis 0.2 m abwechseln mit rein kalkigen. Die schwarzen Tonhäute sind dann nur in

den Kalkschichten deutlich, in den mergeligen kaum vorhanden. Da muß ein periodischer Wechsel im Absatz zwischen Kalkstein und Mergel stattgefunden haben als ein Vorgang höherer Ordnung, während die Ausscheidung der schwarzen Häute im Kalkstein ein Resultat der Diagenese sein kann. Die Frage liegt nahe, ob nicht auch ein konstanter Absatz von Foraminiferenkalk periodische Wiederauflösung am Meergrund erfahren habe und die Tonhäute die Auflösungsrückstände seien. Ich halte das

Fig. 11.

Seewerkalk von Amden. 1/4 natürl. Größe. Oben: Tonstreifen mit stylolithischer Verzahnung. Unten: Tonstreifen mit feinster Verzweigung.

im Fall Seewerkalk deshalb für sehr unwahrscheinlich, weil die Auflagerungsflächen der Tonhäute nicht karrig rauh, sondern knollig glatt sind". Diese Stelle gibt ein klares Bild des Gesteins in seiner eigenartigen Ausbildung. Sie zeigt fernerhin, wie nahe Alb. Heim daran war, diese Erscheinungen als sekundär zu erklären, und wie auch für ihn das Beobachtete nicht ganz in den Rahmen dessen paßte, was man sich bei Schichtung vorstellt.

Nun aber die Beantwortung der Frage, weshalb man gezwungen ist, diese Tonhäute als Folge einer nachträglichen Auflösung anzusehen. Wenn man den allmähligen Uebergang von den Aubrigschichten zum Seewerkalk beobachtet und bei diesem an Stelle der Grünsandschlieren schwarze Streifen erscheinen sieht, so vermutet man, daß beide Gebilde

auf gleiche Weise entstanden sind. Diese Vermutung gewinnt an Wahrscheinlichkeit, wenn wir das Muster der dunklen Linien genau betrachten.

Fig. 11 bringt zwei Partien des Gesteins zur Darstellung. Die eine Partie besteht aus durchaus reinem Kalk mit einzelnen, scharfen Linien, die andere zeigt weniger scharfe Linien, dafür aber feinste, überall hin sich verzweigende Streifen. Nicht der gewöhnlichste Fall ist dargestellt — besonders in der oberen Zeichnung kommt der linsige Charakter sehr wenig zur Geltung —, sondern Beispiele, in denen das Besondere am Klarsten zu Tage tritt. Der eine Fall zeigt, neben horizontalen Linien, schräge und senkrechte Streifen. In der zweiten Zeichnung verzweigen die Streifen sich in einer Weise, die nur ungenügend zur Darstellung gebracht werden konnte. Eine derartige Verästelung entsteht nicht bei der Sedimentation, denn diese bewirkt gar keinen Zusammenhang. Eine andere Wirkung muß sie verursacht haben und zwar die Lösung, denn bei ihr ist Zusammenhang notwendig. Auch die vertikalen und schrägen Linien können nur bei der Lösung geschaffen worden sein, und eben bei diesen beobachten wir eine merkwürdige Tatsache. Laufen die Streifen horizontal, so sind sie eher regelmäßig, werden sie vertikal, so sind sie eher zackig. Diese zackige Form bringt sie unmittelbar mit den Stylolithen und mit den Drucksuturen zusammen. Unter Drucksuturen versteht man feine, zackige Nähte im Kalkstein, unter Stylolithen ähnliche Formen, aber von größerer Dimension und oft zapfenförmiger Gestalt. Diese Bildungen erstrecken sich als Flächen innerer Verzahnung im Gestein, meistens horizontal oder vertikal, aber auch wohl in geneigter Lage. Die Suturen und die Zapfenden sind meistens mit einer Tonkappe oder mit den unlöslichen accessorischen Bestandteilen des Kalkes bedeckt. Eine umfassende Darstellung ist von der Hand **G. Wagners** erschienen in den „Geologischen und paleontologischen Abhandlungen", herausgegeben von Koken (Bd. XI, 1912 - 13).

Eine ältere Theorie, die noch vielfach Geltung hat, betrachtet die Formen als Druckerscheinungen, die im weichen Sediment bei seiner Verfestigung entstanden sind. **Rothpletz** hat für die Suturen eine Entstehung durch Auflösung angenommen und unterscheidet sie streng von den Stylolithen, welche er nach der vorigen Theorie erklären will. Eine Trennung zwischen beiden Erscheinungen ist aber durchaus unmöglich, und so haben **Fuchs** und gleichfalls **Reis** eine Theorie der Auflösung unter Druck aufgestellt, welche sämtliche Erscheinungen umfaßt. G. Wagner verdeutlicht mit schönen Zeichnungen die verschiedenen Formen und Bildungen, die zu dieser Arbeit eine wichtige Parallele bilden. Deshalb mögen auch die wichtigsten seiner Daten folgen:

a) „Stylolithe, Drucksuturen und Eindrücke bei Geröllen entstehen durch chemische Auflösung unter Druck im festen Gestein. Die

verschiedene chemische Widerstandsfähigkeit des Gesteins bedingt völlige Verzahnung der Schichten".

b) „Aus dem Gesetz von Henry und dem Prinzip von Riecke folgt, daß an Stellen stärksten Druckes auch die stärkste Auflösung stattfindet, daß dagegen an Stelle verminderten Druckes sogar Absatz des Gelösten eintreten kann. Die Auflösungszone ist daher stets senkrecht zur Druckrichtung, also über den Endflächen der Stylolithen; die seitlichen Flächen bleiben, weil parallel der Druckrichtung, ziemlich intakt (es findet hier sogar Kalkabsatz statt) und werden durch die Bewegung geglättet".

c) „Die Tonkappe ist der Auflösungsrückstand einer Gesteinsmasse, mindestens gleich der ihres Stylolithen". (Anm.: Wenn man bedenkt, daß die Stylolithen oft über 10 cm lang werden und sich viele hundert Meter weit erstrecken, so bedeutet das ein ganz enormer Kalkabtrag.)

d) „Nie findet man einzelne Stylolithen; sie dehnen sich flächenhaft aus, ohne sich streng an die Schichtgrenzen zu halten".

e) „Ihre Form ist durch das Gestein bedingt".

f) „Direkter Zusammenhang mit Druck, mit tektonischen Bewegungen war nachweisbar".

g) „Drucksuturen sind junge oder durch wechselnden, unregelmäßigen Druck entstandene Stylolithen. Beide entstehen und wachsen heute noch im Gestein".

Der Nachweis Wagners, daß die Erscheinungen oft im Zusammenhang stehen mit tektonischen Bewegungen, ist wichtig. Wagner fand auch bestimmte Richtungsgegensätze: Stylolithenflächen in der einen Richtung, Calcitflächen senkrecht dazu. Wir werden nachher Aehnliches kennen lernen bei den Bewegungen alpiner Deckengesteine. Die Drucksuturen zeigen oft statt zapfenförmiger Ausbildung eine parallele Streifung. Es scheint, als hätten mitunter Verschiebungen in eben diesen Flächen eine solche Streifung hervorgerufen. Dies würde sie in Zusammenhang bringen mit den Rutschflächen und Harnischen, und Wagner sagt auch, daß Rutschflächen und Stylolithen einander oft begleiten. Wenn wir sehen, daß im Seewerkalk besonders die vertikalen Streifen stylolithisch verzahnt sind, so ist das eine weitere Stütze für die Auffassung, daß die schwarzen Häute als Lösungsrückstand zu betrachten sind. Auch im Dünnschliff läßt sich Verzackung zwischen den verschiedenen klastischen Komponenten häufig beobachten, eine Erscheinung, die besonders durch die Schmutzstreifen hervorgehoben wird.

Der Zusammenhang der Tonhäute, ihre Stellung im Gestein und ihre Verzahnung beweisen klipp und klar, daß nicht eine Auflösung am Meeresboden vorliegt, eine Möglichkeit, die Alb. Heim gleichfalls ins

Auge faßt. Man muß sich vorstellen, daß die im Meere abgelagerte Sedimentmasse aus unendlich vielen, feinsten Teilchen besteht, und allseitig vom Wasser umgeben ist. Darin können gar keine derartigen Formen entstehen, auch nicht an der Oberfläche. Die Masse ist für eine solche Formausbildung viel zu fein und plastisch, die Teilchen sind viel zu locker. Zweifellos fängt sofort nach der Ablagerung eine Umwandlung der Masse an, aber sicher nicht eine solche, die diese Teilchen schon weitgehend verbindet. Harte Böden am Meeresgrund sind nachgewiesen, kommen aber nicht gerade häufig vor. Für ihre Bildung sind andere Bedingungen notwendig, als hier gegeben sind, und zwar hauptsächlich ein gröberes und fossilreicheres Material. Besonders bei ausgedehnten, gleichartigen Massen muß die Möglichkeit solcher Vorgänge durchaus verneint werden. Eine derartige Masse wird weder Lösungstendenz in gewissen Bahnen, noch konkretionäre Tendenz haben. Sie ist im Wasser abgelagert, wird vom Wasser innerlich durchtränkt und hat für eine derartige Spezialisierung viel zu gleichartige Bedingungen. Erst die Masse als Gestein kann solche Aenderungen erleiden.

Sehr wichtig ist auch die oben zitierte Beobachtung von Arn. Heim über den roten Seewerkalk. Die Farbe rührt wohl her von feinsten Beimischungen, welche bei der Ablagerung zugegeben wurden. Die Färbung ist deswegen als primär zu betrachten, weil sie immer in begrenzten Horizonten auftritt und kein denkbarer Grund vorliegt, weshalb die Färbung, falls sie sekundär wäre, sich auf diese Horizonte beschränken würde. Zwischen dem roten und weißen Gestein ist auch im Dünnschliff nicht der geringste Unterschied bemerkbar. Infiltrationen oder chemische Umwandlungen würden sich also zweifelsohne auch in dem vollkommen gleichartigen, weißen Nachbargestein bemerkbar gemacht haben. Und nun besteht die merkwürdige Tatsache, daß diese Grenze, welche als Farbengrenze sichtbar ist, aber keine Gesteinsänderung mit sich bringt, nicht mit den schwarzen Häuten zusammenfällt, sondern die von diesen gebildeten Linsen schneidet. Dies bestätigt beides: Die primäre Natur der roten Bänke, die sekundäre der Tonhäute. Beide Bildungen sind von einander ganz unabhängig.

Die Bildung der Tonstreifen läßt sich auch im Mikroskop verfolgen und zwar erscheinen dann in der graulichen Grundmasse gelbe bis bräunliche Linien (Fig. 12). Diese verzweigen sich wiederholt und müssen viel weiter verbreitet sein als man mit bewaffnetem Auge sehen kann. Weil das Gestein von Foraminiferen durchspickt ist, kommen die Streifen mit deren Schälchen in Berührung und schneiden sie dann einfach ab, der beste Beweis, daß die Streifen Lösungserscheinungen sind. Wenn die Hälfte bis zweidrittel des Schalendurchmessers verschwunden ist, so muß der Streifen wenigstens einem Kalkschichtchen dieser Dicke entsprechen. Für

die Bildung der ein bis zwei Millimeter dicken Tonhäute sind sicher mehrere Zentimeter, wenn nicht Dezimeter, des Kalkes erforderlich gewesen.

Der Seewerkalk weicht nach oben dem Seewermergel, meistens nachdem erst eine Wechsellagerung zwischen Kalk und Mergel stattgefunden hat. Im Mergel finden wir die Schmutzstreifen nicht mehr und schon im tonreichen Kalk verschwinden sie oder werden undeutlich, denn ein

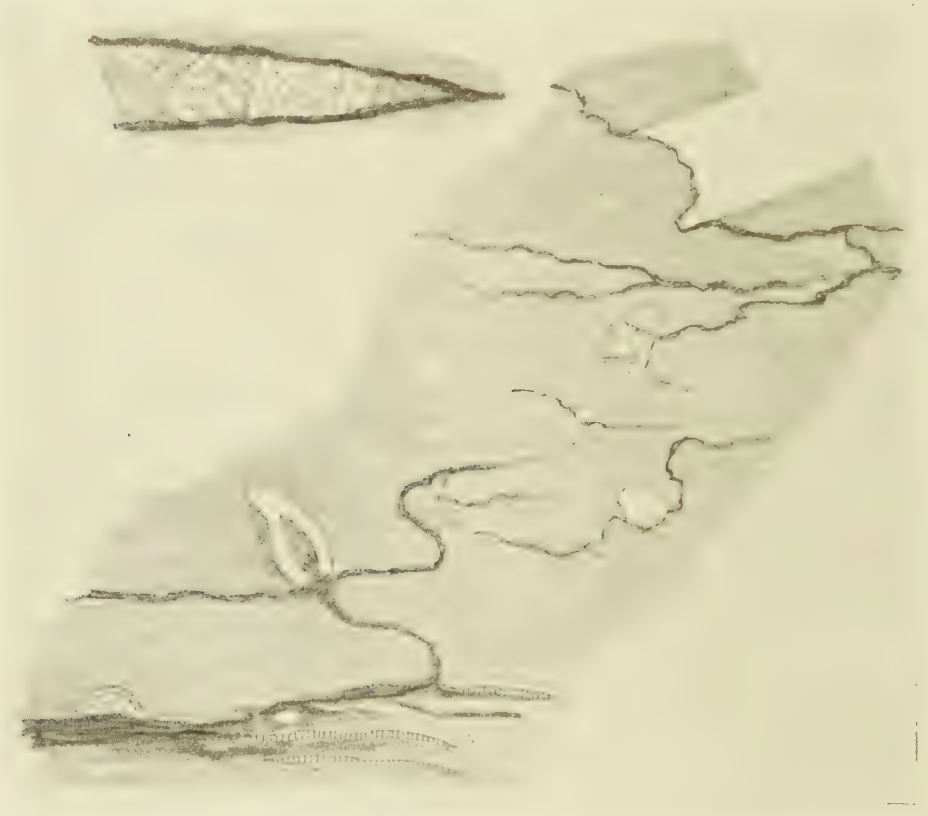


Fig. 12.

Seewerkalk mit Tonstreifen, welche Foraminiferengehäuse abschneiden. Vergr. 1:213. Grau: Grundmasse. Weiß: Calcit. Schraffiert: Calcitstreifen.

tonreiches Gestein ändert die Bedingungen für das Eindringen und die Bewegung des Wassers in hohem Grade.

Die Vermutung, daß die dunkeln Häute des Seewerkalkes als Folge einer Auflösung im festen Gestein zu betrachten sind, wurde auch von **H. Ahrens** ausgesprochen in seiner Arbeit: „Der Große Aubrig im Wäggital". Ahrens macht darauf aufmerksam, daß die dunkeln Streifen im Kalk nicht einfach Schichtungserscheinungen sein können. Ihr vielfach merkwürdiger Verlauf im Gestein und auch ihre stylolithische Ausbildung

bringen ihn dazu, die Häute wenigstens teilweise als Auflösungserscheinungen anzusehen.

KAP. VIII.

Gesteinslösung als Faktor der Gesteinsbewegung bei der Gebirgsbildung.

Wir sind zu einem wichtigen Punkt gelangt. Entgegen den limburgischen Verhältnissen ist im ganzen Gebiet, von den Préalpes romandes bis zum Rheintal, der Seewerkalk gleichartig entwickelt. Auch die tieferen Schichten bleiben sich in weiter Ausdehnung gleich. In Limburg ändert sich die sekundäre Art des Gesteins beträchtlich und zwar im Zusammenhang mit der Beschaffenheit des Terrains. Der Auflösungsprozeß schreitet noch stets weiter und wird von der Geländegestaltung bedingt, wie er umgekehrt selber diese Gestaltung mitbestimmt. In dem Deckengebiet aber hat die Oberfläche keinen Einfluß auf die Art der Erscheinungen und es ist auch kein Zusammenhang mit der Verwitterung nachweisbar, wie in Limburg. Das heißt einfach, daß wir einen abgeschlossenen Prozeß wahrnehmen.

Es fragt sich nun, wann diese Gesteinsumwandlung sich vollzogen hat und welche Bedingungen der geologischen Vergangenheit ihren allgemeinen Charakter bestimmt haben. Prof. **H. Schardt** meint, daß die Zeit dieser Umwandlungen in das ältere Tertiär zu stellen ist, in die Landperiode des Paläozän. Selber bin ich durch bestimmte Erscheinungen zu der Ansicht gebracht worden, daß diese Umwandlungen mit der Bewegung des Gesteins bei der Gebirgsbildung zusammenhängen und ihre immer sich wiederholenden Formen von der Gebirgsbildung mitbestimmt worden sind. Unter Gebirgsbildung verstehe ich dann ganz allgemein die Zeit, die vom Einsetzen der großen Spannungen in der Sedimenthülle bis zu ihrem Erstarren im gefalteten Gebirge reicht. Es dürfen die Umwandlungen in der älteren Tertiärzeit ihren Anfang genommen haben, um in der jüngeren Tertiärzeit bei dem Gipfel der Gebirgsbildung ihr Ende zu finden. In diesem und dem nächsten Kapitel werde ich diese Gedanken ausführen.

Die Betrachtungen über Gesteinsumwandlung und Gesteinsbeweglichkeit bei der Gebirgsbildung befassen sich meistens nur in geringem Maße mit den typischen Sedimentgesteinen der oberen helvetischen Decken, weil deren Charakter noch verhältnismäßig ursprünglich ist. Erst in den metamorphen Gesteinen hat die Gebirgsbildung ihren klarsten Ausdruck bekommen und deshalb ist sie bei diesen am besten bekannt. Doch müssen notwendigerweise auch die sedimentären Gesteine bei

der Gebirgsbewegung Aenderungen erlitten haben. Bei diesen Sedimentgesteinen, welche aber durch gewisse Erscheinungen doch direkt nach den metamorphen Gesteinen hinüberleiten, ist das Wasser ohne Zweifel ein ungeheuer wichtiger Faktor gewesen, ein überall gegenwärtiger Vermittler für Umlagerungen aller Art. Diese Gesteinsumwandlungen werden von der Gebirgsbildung zur Bewegung benützt. Es ergibt sich folgendes Verhältnis: Die Gebirgsbildung bedingt Gesteinsumwandlung, die Gesteinsumwandlung ermöglicht Gebirgsbildung, indem sie die Gesteinsbeweglichkeit fördert.

Bei einer Decke wird die ganze Schichtmasse bewegt und gefaltet, so daß jedes Schichtglied gezwungen ist, sich mitzubewegen. Wie seine Bewegung sich äußern wird, hängt dabei ab von folgenden Faktoren: Eigene Beschaffenheit, Beschaffenheit der Umgebung, Art der Bewegung. Könnte man diese Faktoren zahlenmäßig ausdrücken, so würde man für jedes Gestein mathematisch die Bewegung bestimmen können. Auch bei den Kreideschichten hat jede Schicht ihre eigene Bewegungsart und wir finden noch beträchtliche Unterschiede, z. B. zwischen dem Seewerkalk, der unschwer Bewegungen mitmacht, und dem kompakten, relativ unbeweglichen Schrattenkalk. Dieser Unterschied wird offenbar in der Amdener Mulde. Während der Schrattenkalk regelmäßig ohne größere Störungen gebogen ist, bildet der Seewerkalk in dem Muldenkern eine Unmenge kleiner Fältelungen.

Diese Beweglichkeit verdankt der Seewerkalk in erster Linie seiner eigenen Beschaffenheit und zwar werden die Lösungsflächen zur Bewegung benützt. Schon **Arn. Heim** macht in dieser Hinsicht eine Bemerkung, indem er (pag. 190) von dem Seewerkalk der Flifalte schreibt: „Im Steinbruch konstatiert man auffallend glänzend pechschwarze bituminöse, unregelmäßige Häute zwischen den Kalkbänken, die bis 1 mm Dicke erreichen und vom Kalk leicht abblättern. Meist hat eine innere Gesteinsverschiebung auf diesen Häuten stattgefunden, wodurch vielleicht deren Glanz und Glätte bedingt sind. Wo keine Gleitbewegung stattgefunden hat, haben sie eine rauhe Oberfläche".

Diese Erscheinung ist im Seewerkalk weit verbreitet. Neben Glättung und Glänzung läßt sich meistens noch eine Streifung bemerken, besonders in den weniger dicken Häuten. Man kann aus diesen Beobachtungen ruhig schließen, daß Verschiebungen in diesen Flächen stattgefunden haben. In seiner „Geologie der Schweiz" bringt **Alb. Heim** teilweise, und zwar in den Fällen, wo auch der Kalkstein weitgehend gepreßt worden ist, die tonigen Häute mit Bewegungsvorgängen in Zusammenhang. In Bd. II pag. 106 sagt Alb. Heim im allgemeinen: „Bei tonhaltigen Gesteinen mit organischem Farbstoff kommt eine Entmischung zustande, Ton und Anthrakoid oder Graphitoid werden ausgepreßt in Gleitflächen und bilden

an Zahl zunehmende, flaserige Gleithäute, während die dazwischen liegenden, flachen Gesteinslinsen hellfarbiger werden und höher kristallin". Diese Beschreibung bezieht sich hauptsächlich auf den Seewerkalk. Wenn Alb. Heim diese Erklärung nicht immer auf den Seewerkalk anwendet, so kommt das wohl daher, weil er doch in erster Linie an primäre Erscheinungen bei der Ablagerung oder kurz nachher denkt. Für weniger gepreßtes Gestein wäre auch wirklich die Erklärung als Gleitfläche allein vollkommen ungenügend.

Wenn Glättung und Glänzung auftritt, so ist sie am deutlichsten in den horizontalen Flächen, während die vertikalen Streifen eher zackig verwachsen sind. Dieser Gegensatz zwischen horizontaler und vertikaler Richtung besagt klar, daß sich in den horizontalen Flächen eine Bewegung geäußert hat, in den vertikalen aber nicht. Wo Alb. Heim die Häute des typisch gepreßten Seewerkalkes mit der Gesteinsbewegung in Verbindung bringt, nennt er ihre Entstehung eine „mechanische Auspressung". Ihre Anlage ist aber nach meiner Ansicht in erster Linie als ein Akt der Lösung zu betrachten, wobei der Druck ein bedeutender Hilfsfaktor war. Bei den gepreßten Seewerkalken waren die Linsen schon gebildet und wir werden an eine Verschärfung des Gesteinscharakters denken müssen, wobei nun allerdings der Druck die erste Rolle spielt. Daß der Druck bei der Auflösung immer ein wichtiger Faktor ist, darf nie vergessen werden. Allerdings wird die Löslichkeit an sich durch Druck nicht erhöht (was experimentell festgestellt worden ist), aber die Massen werden einander näher gebracht und werden infolgedessen reaktionsfähiger. An den vielen Berührungspunkten findet eine Bewegungsvergrößerung statt, es entstehen Spannungen, vielleicht wird Wärme erzeugt, jedenfalls aber wird da die Reaktionsfähigkeit bedeutend gesteigert und also die Auflösungstätigkeit beschleunigt.

Auch der reichliche Calcitabsatz innerhalb des Seewerkalkes beweist, daß Lösung hier eine besondere Rolle gespielt hat. Calcitadern durchschwärmen vielfach das Gestein. Solche Calcitflächen wechseln oft mit Tonhäuten ab, eine Erscheinung, die auch unter dem Mikroskop beobachtet werden kann. Fig. 12 zeigt flache, feingestrichelte Linsen zusammen mit Lösungsstreifen. Die in Reihen angeordneten Calcit-Kriställchen solcher Linsen haben mitunter Zerrungen und Biegungen erlitten, was gleichfalls besagt, daß in diesen Flächen bestimmte Spannungen herrschten und ausgelöst wurden.

Die glänzenden Calcitflächen, die man oft auf größeren horizontalen Seewerkalkflächen antrifft, zeigen mitunter feinste Streifung. Sie erinnern dadurch an „Harnische". Das ist sehr bezeichnend, denn unter Harnischen verstehen wir spiegelglatte Polituren, welche bei Reibbewegungen entstehen. Wenn zwei Gesteine sich gegeneinander verschieben und es

nicht so weit kommt, daß Reibungsmassen abgescheert werden und eine Schmiere liefern, die Gesteinsmasse aber auch nicht so weich ist, daß sie verknetet wird, so entsteht eine glänzende Politur oft mit parallelen Streifen in der Richtung der Bewegung. Harnische deuten also im allgemeinen auf kleine, innere Bewegungen. Daß die Calcitbildungen beim Seewerkalk oft stark an diese Harnische erinnern, deutet also gerade auf kleine Verschiebungen. Beim Seewerkalk sind allerdings gewöhnlich nur winzige Flächen auf diese Art ausgebildet. Wenn diese auf einer größeren Oberfläche zerstreut liegen, sind sie alle in gleicher Richtung gestreift und brechen alle in gleicher Richtung ab. Sie waren also einer einheitlichen Wirkung unterstellt. Das Auftreten kleinerer gesonderter Calcitpartien hängt mit der eigentümlichen, linsigen Beschaffenheit des Gesteins zusammen. Wenn wir eine günstige Fläche des Kalkes betrachten, so sieht man eine länglich-ovale, wellige Felderung, die von der Linsenform der Kalkpartien herstammt. Diese wellige Felderung sieht aus wie ein Schachbrett, nur treffen wir statt schwarzer und weißer concave und convexe Felder, die länglich gestaltet sind. Wir sehen nun diese Felder entweder mit schwarzen Häuten bedeckt, soweit diese wenigstens erhalten sind, oder aber mit Calcitflächen der beschriebenen Art.

Im allgemeinen ist das Gestein sehr wechselnd und unregelmäßig ausgebildet, so daß selten eine ideale Formgestaltung erreicht wird. Mitunter aber erscheinen klarere Formen. So ließ sich an einigen Stellen folgendes beobachten: Die concaven, länglichen Felder waren mit kleinen Harnischflächen ausgestattet, und zwar lagen diese alle gleichsinnig an der Hinterseite. An dieser Seite war also Calcitausscheidung möglich, an der Vorderseite nicht, daß heißt: es herrschten verschiedene Druck- und Spannungsverhältnisse.

Wie sind solche Bildungen als Erscheinungen der Bewegung zu erklären? Obwohl das Gestein verschieden ausgebildet ist, so herrschen linsige Formen vor und nun geht meine Vermutung dahin, daß diese linsige Struktur die mechanisch günstigste Bedingung zur Bewegung ist. Dadurch, daß diese Linsen um wenig nur ihre Lage ändern, wird in der Gesamtheit, wo sich die kleinsten Bewegungen summieren, die größte Bewegung möglich, ohne daß der Gesteinsverband gestört wird. Im Gestein wird sich womöglich die Ausbildung der Lösungsflächen nach den Spannungen und nach der Gesteinsbewegung richten. Dann ist die konstante Größe der hauptsächlichsten Formelemente eine niedergeschriebene Formel des Druckes und der Gesteinsbewegung. Die Hauptlinien nämlich zeigen eine bemerkenswerte Konstanz, sie erscheinen immer in ziemlich gleichem Abstand, der zwischen 3 und 8 cm variiert. Die kalkigen Bänke und Linsen besitzen dadurch in der Hauptsache gleiche Größe. Diese Regelmäßigkeit muß eine andere

Bedingung haben, als Lösung allein. Es muß eine im Gestein geschriebene Formel sein, die besagt, daß Gestein von dieser Art sich unter Mithilfe von Druck und Lösung in Flächen dieser bestimmten Form und Größe bewegt.

In Fig. 13 habe ich darzustellen versucht, wie bei einem solchen Bau des Gesteins unter Mithilfe der Lösung eine derartige Bewegung möglich wäre. Denken wir uns an der Seite B eine Kraft, die in der Pfeilrichtung wirksam ist und die vom Gestein auf irgend eine Weise beantwortet werden muß, während die Seite A fest ist und den Angelpunkt bildet. Es findet nun eine geringe Verschiebung in den Gleitflächen statt, und zwar so, daß die Unterseite einer Linse in der Richtung

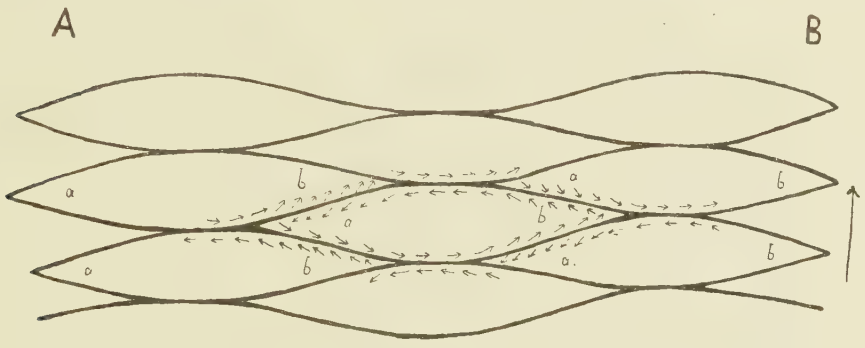


Fig. 13.

Schematische Darstellung einer Bewegungsmöglichkeit im Seewerkalk, bei linsiger Textur, unter Mithilfe der Auflösung und einseitiger Calcitausscheidung.

A—B, die Oberseite in der Richtung B—A sich bewegt, wie es mit Pfeilchen angedeutet ist. Dabei entsteht zwischen zwei benachbarten Linsen eine Druckvergrößerung an der Unterseite *a* der einen und Oberseite *b* der andern Linse, sowie eine Druckverminderung an der Unterseite *b* und der Oberseite *a*. Infolgedessen wird an den Stellen größeren Druckes die Auflösung zunehmen, während an den anderen Stellen Calcitabsatz stattfinden kann. Damit habe ich das einseitige Calcitvorkommen zu erklären versucht; meistens aber werden die Bewegungen zusammengesetzter sein. Kleine Verschiebungen werden einmal in dieser, dann in jener Richtung erforderlich sein. Neben den kleinen Verschiebungen werden auch größere Flächenbewegungen stattfinden.

Man kann sich den Vorgang folgendermaßen denken. Zusammen mit der Lösung und diese fördernd, hat die Bewegung stattgefunden, die Lösung hat aber wieder durch die Bildung von Flächen und Trennungen die Bewegung gefördert. Dabei haben die kleinsten Verschiebungen durch ihre tausendfache Summierung große Bewegungen ermöglicht, ohne

daß der Gesteinsverband verloren ging. Auch gewann hierdurch die Gesamtmasse eine gewisse Geschmeidigkeit, indem die kleinsten Verschiebungen in verschiedener Richtung stattfinden konnten. Infolgedessen ist der Seewerkalk nicht nur für große tektonische Bewegungen, sondern auch für kleinere Fältelungen ein relativ gut geeignetes Gestein. Wenn aber der Druck zu groß wird, starke Pressungen oder Verschiebungen stattfinden, dann verlieren die beschriebenen Vorgänge ihre Regelmäßigkeit. Es entsteht ein Durcheinander von Gesteinsresten, Calcitausscheidungen, schwarzen Streifen und Flecken, Massen, wobei grober Druck

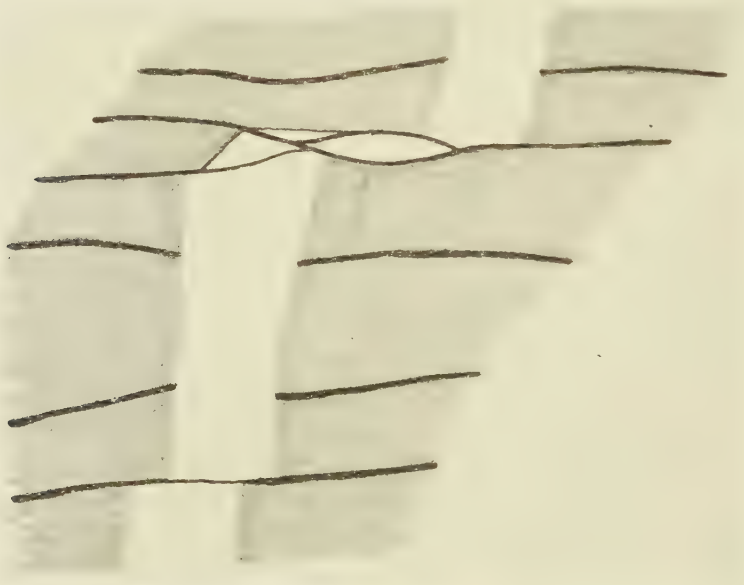


Fig. 14.
Verschiebungen einer Calcitader im Seewerkalk. 1/2 natürl. Größe.
Weiß: Calcit. Grau: Kalk mit dunkeln Tonhäuten.

und Zerreißung die Hauptwirkung war. Wir aber wollten die höhere Leistung des Gesteins kennen lernen.

Näheres über die regelmäßige Bewegung können wir noch auf andere Weise erfahren. Das Gestein wird von vielen Calcitadern durchsetzt. Wenn diese teilweise gebildet worden sind, bevor diese Gesteinsbewegung zu Ende war, so können sie uns zeigen, ob Verschiebungen stattgefunden haben. Meistens erscheint nun ein solcher Wirrwar weißer Streifen, daß die Zusammenhörigkeit der einzelnen Teile schwer herauszufinden ist. Wahrscheinlich ist dieses wirre Muster gerade als eine Folge der vielen Verschiebungen anzusehen. Denn es gibt andere Adern, die das Gestein unentwegt durchschneiden, also nach der Bewegung gebildet worden sind.

Es kommen aber günstige Fälle vor, wo wir wenigstens teilweise die Verschiebungen wahrnehmen können. Ein solcher Fall aus dem Seewerkalk von Ingenbohl (Schwyz) ist in Fig. 14 abgebildet. Die Zeichnung zeigt, daß in einem Gestein, das schon ganz von Häuten durchzogen war, eine Calcitader entstand. Später setzte eine neue Bewegung ein, Verschiebungen in den Häuten fanden statt und die Ader wurde zerteilt und gebrochen. Bemerkenswert ist, daß die schwarzen Streifen der Flächen, worin die Bewegung sich äußerte, jetzt durch die Adern hindurch gehen, wenn sie auch dort nicht so scharf sind, wie im Gestein selber. Teilweise kann dies eine Folge der Zerreibung sein, eher aber wird der Druck, vielleicht unter Mithilfe des Wassers, die schwarze Substanz in den entstandenen Riß hineingepreßt haben. Gleichfalls bemerkenswert ist, daß nur einige Flächen an der Bewegung beteiligt waren. Je nach Bedürfnis und nach Möglichkeit scheinen solche in Anspruch genommen worden zu sein.

Weitere Auskunft über die Bewegung gibt die Beobachtung solcher Stellen, wo eine Fältelung oder Biegung auf engstem Raum stattgefunden hat. Wenn ein solcher Vorgang auf kürzester Strecke in größtem Maß stattfindet, dann wird jede Linse und jede Fläche ein bedeutender Faktor, über dessen besonderes Verhalten wir uns Rechenschaft geben müssen.

In der Steingrube bei Ingenbohl zeigte eine stark gefaltete Gesteinspartie deutlich, wie die Biegung zustande kam. Fig. 15 und 16 bilden diese Partie an zwei verschiedenen Stellen ab und zwar wird an jeder die Biegung auf ganz andere Weise erreicht. In Fig. 15 hat sie um einen Kern als Mittelpunkt stattgefunden, während in Fig. 16 eine V-förmige Gelenkung ausgebildet ist. Beides führt zum gleichen Resultat: Rasche Biegung auf kurzer Strecke. Die gestrichelten, dunkeln Partien in der Zeichnung deuten Calcitausscheidungen an, neben und zwischen den Tonstreifen. In Fig. 16 ist die Biegung fast eine Knickung in V-form geworden. Die Gelenkung findet in scharf ausgeprägten, querverlaufenden Tonhäuten statt. In den Schenkeln des Knickungswinkels entstand eine Spannungslockerung, welche Calcitabsatz ermöglichte. Die ursprüngliche Form der Gesteinskomponenten ist verhältnismäßig gut erhalten, nur die Querlinien und Seiten sind gerade und scharf geworden.

In Fig. 15 ist eine große Linse erhalten, die als Zentrum diente. Die großen Spannungen wirkten seitlich, d. h. in der ursprünglich horizontalen Richtung. An den Schmalseiten der Mittellinse sind daher scharfe, zackige Nähte ausgebildet, während an den Längsseiten, besonders oben, Calcit ausgeschieden wurde. Viel mehr als im vorigen Fall ist ersichtlich, daß größere Formänderungen aufgetreten sein müssen. Die Möglichkeit, daß neue Lösungslinien speziell für die Biegung ausgebildet worden sind, ist nicht ausgeschlossen, aber, wo wir es mit einem end-

gültigen Abschluß der Bewegung zu tun haben, ist es eher wahrscheinlich, daß die Grundformen schon ausgebildet waren. In diesem Fall und wenn, wie allgemein angenommen werden muß, diese Grundform länglich ist, haben hier bedeutende Formänderungen stattgefunden, denn die Partien über dem Zentrum scheinen stark zusammengedrückt und nach oben ausgewichen zu sein. Ihre Zwischennähte sind auch besonders zackig ausgeprägt. Dieser Querstreckung ging eine Längsstreckung der nächst höheren Partien parallel. Im Gegensatz dazu sind die Partien unter dem Zentrum klein und von dicken Schmutzstreifen umgeben.

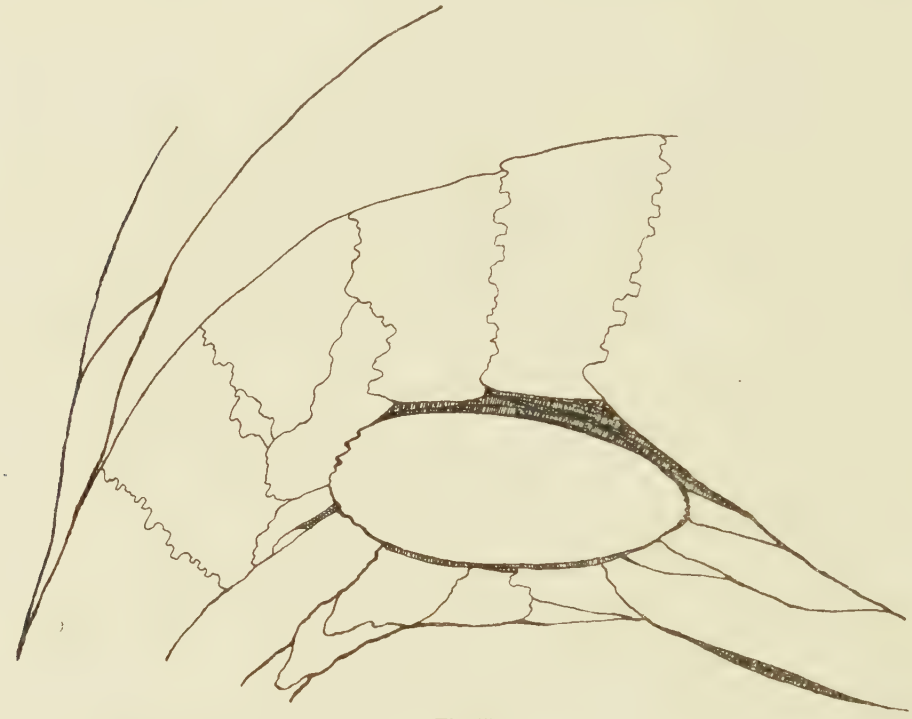


Fig. 15.

Biegung im Seewerkalk um eine Linse als Zentrum. ½ natürl. Größe.
Gestrichelt: Calcitauffüllung, zusammenhängend mit den Tonhäuten.

Aber auch bei diesen hat eine Veränderung stattgefunden, was besonders in den nach außen gebogenen Querlinien der linken Seite der Fig. 15 zum Vorschein kommt. In diesen Fällen tritt das Druckmoment besonders zu Tage und wir nähern uns der bruchlosen Deformation, die von Alb. Heim in seinem „Mechanismus der Gebirgsbildung" so meisterhaft beschrieben worden ist. Hier aber soll gezeigt werden, wie das Gestein, lange bevor eine allgemeine Plastizität erreicht worden war, schon Mittel zur Bewegung besaß. Die Erklärung der Gesteinsbewegung, besonders in ihrem Anfangsstadium, soll in anderer Richtung gesucht

werden. Allmählich haben wir dabei den Uebergang zu den andern Erscheinungen gefunden. Wenn wir von typischen Lösungserscheinungen ausgegangen sind, so kommt immer mehr der Druck als wesentlicher Faktor in Betracht, bis er endlich Hauptfaktor wird. Diese Sedimentgesteine zeigen demnach auch deutliche Uebergänge nach den metamorphen Gesteinen.

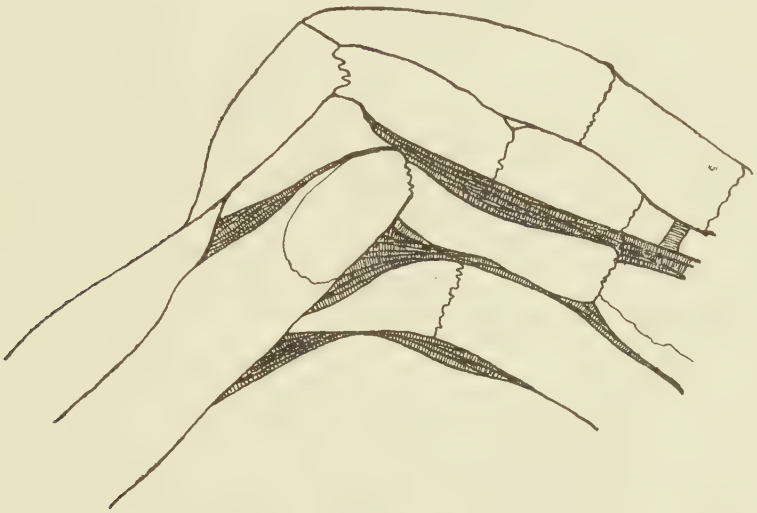


Fig. 16.
Biegung im Seewerkalk, $^1/_2$ natürl. Größe. Gestrichelt: Calcitauffüllung.

KAP. IX.

Fortsetzung. Aehnliche Bewegungen in welligen Flächen.

Den mechanischen Vorgang mathematisch festzulegen wird schwer sein. Die Kombination verschiedener Beobachtungen läßt vermuten, daß viele „Schichtungserscheinungen" mit dem ursprünglichen Ablagerungsakt rein nichts zu schaffen haben.

Ein Beispiel und Beleg für diese Ansicht ist auch die Art und Weise, wie der Schrattenkalk die große Biegung in der Amdener Mulde zustande gebracht hat. An ihrer Bildung ist besonders der etwa 250 m mächtige Schrattenkalk beteiligt. **Alb. Heim** tut dieser Mulde besondere Erwähnung in seinem „Mechanismus der Gebirgsbildung" und zwar als Beispiel der Radialzerklüftung bei einer Biegung. Auch eine solche Zerklüftung mit nachheriger Calcitauffüllung ist ein Mittel zur Bewegung. Alb. Heim schreibt von den Schrattenkalk- und Neocomschichten (II pag. 17): „Dort zeigen sich besonders in den letzteren gradlinige Radialspalten von hoher Regelmäßigkeit. Die äußeren Schichten sind

reicher an radialen Zerreißungen als die inneren — — —. Wenn man indessen auf einer gewissen Strecke die Summe der Breite aller Radialadern von zwei verschiedenen Schichten mißt, und miteinander vergleicht, so findet man, daß in dem genannten Beispiele die äußeren Schichten nicht um einen entsprechenden Betrag mehr durchklüftet sind, als sie im Vergleich mit den innern mehr Streckung erfahren haben; wohl aber stimmt der Betrag, um welchen die Adern an der convexen Seite einer bestimmten Bank breiter sind, als an der concaven der gleichen Felsbank mit der berechneten, von den Fasern der convexen Seite mehr geforderten Streckung bedeutend besser überein, etc. — — — Es folgt hieraus, daß noch auf einer andern Weise, als durch Reißen von Radialklüften, die Spannungsungleichheiten zwischen den verschiedenen Schichten sich ausgeglichen haben."

Als andere Arten des Ausgleichs nennt Alb. Heim: Bewegung in den Schichtflächen und Dehnbarkeit ohne Zerreißen. Der Schrattenkalk, welcher nicht so stark durchklüftet ist, hat sich bei der Muldenbiegung besonders in parallelen Flächen bewegt. Wenn Dehnbarkeit ohne Zerreißen eine Rolle gespielt hat, so ist die Mulde so breit, daß dieser Vorgang nicht im einzelnen nachweisbar ist. Wo die Straße Weesen-Amden die Muldenflanke durchquert, sehen wir die wiederholten Absonderungsflächen, die den Schrattenkalk in flache Schalen geteilt haben und durch ihre gegenseitige Verschiebung die Bewegung ermöglichten.

Diese Absonderungsflächen sind aber entschieden keine Schichtflächen, wenn wir darunter etwas Ursprüngliches, im Sediment Vorgebildetes verstehen. Wohl kann man sagen, daß die Absonderungsflächen sich in der Schichtrichtung erstrecken. Wären die Flächen ursprünglich, so sollte man bei der sonstigen Massigkeit des Gesteins irgendwelche Anzeichen der Gesteinsänderung erwarten. Davon aber keine Spur; oben und unten ist die Ausbildung vollkommen gleich. Weiter bemerken wir, daß die Flächen nicht eben, sondern leicht wellig sind. Außerdem erscheint meistens nicht eine einzelne Fläche, sondern es liegt ein System von flachen Linsen vor. Diese Linsen werden von der Verwitterung gelockert, sie breiten sich nach den Seiten aus, werden undeutlicher und verlieren sich im Gestein. Der linsige Charakter steht so vollkommen mit der massigen Gesteinsart im Widerspruch, daß wir ruhig sagen können, er sei bei der Bewegung entstanden. In den einzelnen Flächen äußerte sich immer ein Teil der Bewegung. Bei einem linsigen System konnte diese Aeußerung viel bedeutender sein, denn hier wurde die Bewegung des einen Teils dem andern übergeben.

Nach meiner Ansicht ist es also die Bewegung, welche die Flächen entstehen ließ. Wenn eine ursprüngliche Zwischenschicht vorlag, so wurde diese natürlich benützt, existierte aber eine solche nicht, dann

würde sie einfach in der Schichtrichtung geschaffen. Auch wenn wir die Frage, ob diese Flächen ursprünglich im Sediment vorgebildet waren, nicht entscheiden können, so bleibt doch die Tatsache bestehen, daß die jetzigen Flächen keine ursprüngliche Form und Ausbildung zeigen. Sicher ist, daß in dieser Mulde eine Bewegung stattgefunden hat und es ist also nicht gewagt, die besondere Art der Flächen aus ihr zu erklären. Dann aber ist die Tatsache besonders wichtig, daß die gleichen welligen Linien und die gleichen Linsen ausgebildet worden sind wie beim Seewerkalk. Diese Uebereinstimmung bringt uns wieder dazu, anzunehmen, daß die gegebenen Formen für die Gesteinsbewegung am günstigsten sind und durch sie ausgeprägt wurden.

Weil das Gestein zur Lösung sehr wenig geeignet ist, muß hauptsächlich der Druck im Spiel gewesen sein. Man muß dabei stets bedenken, daß Bewegung, Druck und Lösung von einander abhängig sind. Die Bewegung würde sich gerne in gewissen Formen und Flächen, die durch den Druck bestimmt sind, äußern. Sie bringt es aber meistens nicht zustande, wenn nicht die Lösung es möglich macht. Im Seewerkalk haben wir ein gewisses Gleichmaß von Lösung und Druck. Beim Knollenkalk scheint Lösung der wichtigste Faktor gewesen zu sein. Das Gestein wird dabei eher kompakter und weniger beweglich. Aber die Bewegung dürfte auch hier die Formen wenigstens mitbestimmt haben, denn auch im Grünsand findet man gewisse Anzeichen der Rutschung. Anders beim Schrattenkalk: Hier ist der Druck Hauptsache, die Bewegung gelangt gewaltsam zur Aeußerung und es fragt sich, wie weit das Wasser überhaupt noch eine Rolle gespielt hat.

Wenden wir nach dieser Betrachtung unsere Aufmerksamkeit den Gesteinen des Melchtals zu. Die Melch-Aa hat sich in der vordersten, flachüberliegenden Antiklinale der Axenkette eine tiefe Kluft gegraben. Darin finden wir wohlerhaltene Kreideschichten von großer Regelmäßigkeit. Diese regelmäßige Schichtung ist aber so merkwürdig, daß wir sie genau beobachten müssen.

In Fig. 17 ist ein Querschnitt des Hauterivien-Kieselkalkes abgebildet. Dieser Kieselkalk zeigt in gewissen Abständen Zwischenschichten und zwar erscheinen diese als mehr tonige Partien von weicher Beschaffenheit. Bei der Verwitterung rufen sie eine Bankung im Gestein hervor. Die Linien haben einen welligen Verlauf und das Gestein zeigt infolgedessen eigenartige Verdickungen. Es liegen nämlich die Wellenlinien nicht gleichsinnig übereinander, sondern immer ein Wellenberg über einem Wellental und umgekehrt in der Art, daß ein Formenausgleich stattfindet und in der gleichen Gesteinsbank Verdickungen mit Verdünnungen abwechseln. In Fig. 17 ist dies z B. für die Linien *b* und *c* der Fall, aber auch für *a* und *b* und gleichfalls für *c* und *d*. In den

größeren Formen gilt der Satz wieder für *a* und *d*, so daß wir immer einen Formenausgleich wahrnehmen. Bei horizontalen Gesteinsflächen erscheint die gleiche, schachbrettartige Felderung des Seewerkalkes, wobei die Felder von concaven und convexen Formen gebildet werden. Freiliegende Flächen des Kieselkalkes sieht man in den Steinbrüchen an der Seestraße zwischen Brunnen und Gersau. Auch hier sind die Felder länglich in der Streichrichtung, genau wie beim Seewerkalk, während man quer dazu eine Streifung wahrnimmt.

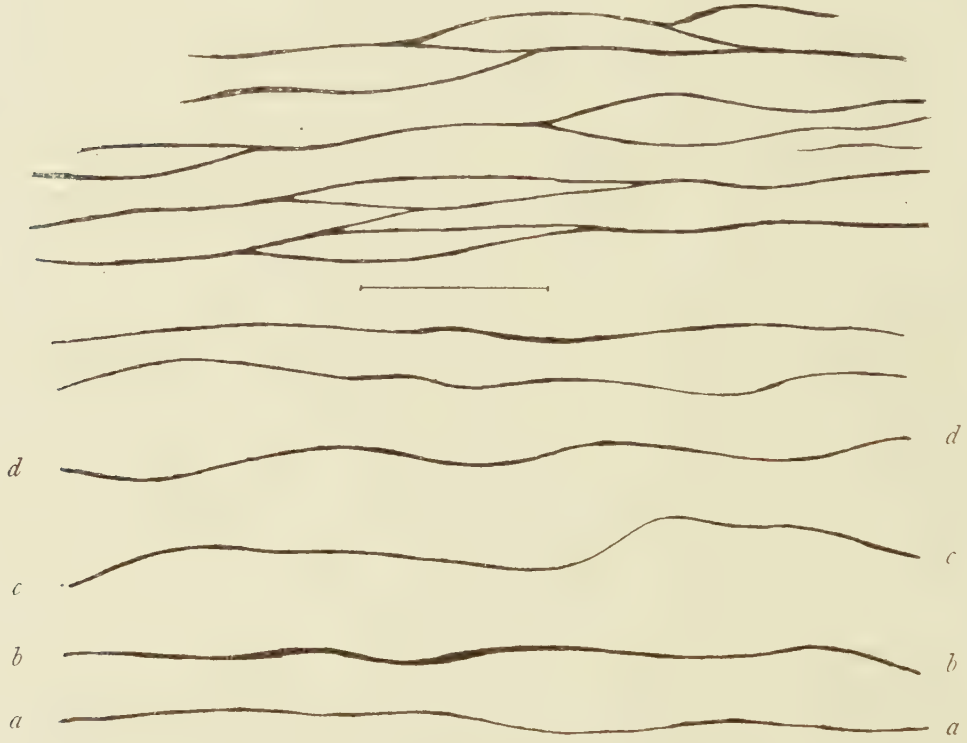


Fig. 17.

Kieselkalk mit dünnen Zwischenschichten. $^1/_{25}$ natürl. Größe.
Oben: aus dem Melchtal. Unten: von Treib-Seelisberg.

Eine derartige Felderung und solche Formen können niemals bei der Ablagerung entstanden sein. Höchstens würde man noch denken können, daß eine Meeresströmung wellenartige Formen erzeugt hat, aber man kann sich an jeder Küste leicht überzeugen, daß Strömung ganz andere Wellenformen erzeugt. Auch wäre es vollkommen unverständlich, weshalb zwei getrennte Zwischenlagen in einer gewissen Abhängigkeit von einander stehen sollten, was jetzt doch offenbar der Fall ist. Die längliche Form der Felder in der Streichrichtung, die Streifung in der Bewegungsrichtung der Decken lassen wieder einen Zusammenhang mit der Gebirgsbildung erkennen. Im gleichen Tal zeigt der Valangien-Kalk,

dem nur Ton beigemischt ist, in etwas andern Formen die gleiche Erscheinung. Arbenz sagt von ihm (Exkursion in die Obwaldener-Alpen, Ecl. geol. helv. Vol XII. s. 695—696): „Der Valangienkalk ist ein dünngeschichteter, heller oder dunkler Kalk mit schwarzen tonigen Häuten auf den Schichtfugen. Es wurde allgemein festgestellt, wie ähnlich dieses Gestein dem Seewerkalk ist. Im ganzen ist der Valangienkalk ebenflächig geschichtet, während der Seewerkalk wellige Schichtflächen besitzt." Aber bei genauer Betrachtung erscheinen auch die Flächen beim Valangienkalk leicht wellig, gerade wie beim Hauterivien-Kieselkalk. Die Regelmäßigkeit ist auch hier außerordentlich groß; während aber die Bänke beim Kieselkalk 20—40 cm mächtig sind, ist hier die normale Dicke 3—5 cm. Die gleiche gegenseitige Abhängigkeit der Wellenformen erscheint auch hier, sowohl zwischen benachbarten Flächen als auch auf größerer Distanz. Ist die Formengegenstellung nicht in zwei Nachbarflächen klar, so ist sie es in einer dritten oder vierten Fläche.

Weil nun die weicheren Schichten nicht als Ablagerung entstanden sein können, dagegen ein Zusammenhang mit der Gebirgsbewegung deutlich ist, werden wir wieder zur Annahme gezwungen, daß sie infolge einer Substanzumlagerung gebildet worden sind, wodurch innere Gesteinverschiebungen möglich wurden. Es besitzen diese Flächen eine gewisse Dicke von einigen mm bis zu einigen cm, sodaß Bewegungen leicht zustande kommen konnten, ohne daß wir deren Aeußerung so klar erblicken wie beim Seewerkalk. Es brauchen bei der Bildung der weichen Schichten nur die feinsten Teilchen um wenig verschoben zu werden, so wird die Summierung in einer cm-dicken Schicht schon eine merkbare Verschiebung ermöglichen, und diese in hunderten von Metern des gleichen Gesteins zusammengefaßt, wird allerhand Biegbewegungen gestatten.

Gerade der Umstand, daß jedes Gestein so außerordentlich an seinen Formen festhält, die verschiedenen Gesteine aber verschiedene Normalformen zeigen, scheint mir sehr zu Gunsten dieser Bewegungstheorie zu sprechen. Wären die Formen von Strömungen oder anderen Ablagerungsbedingungen bestimmt, so würden sie eher gleichartig erscheinen, bei der Bewegung aber muß jeder Kalk seiner Natur nach reagieren und die ihm eigenen Formen bekommen. Gerade die feinsten Kalke ohne gröbere Beimischung scheinen die kleinsten Formen und damit die größte Beweglichkeit zu besitzen.

Außerdem fand sich im Melchtal noch eine sehr schöne Linsenform jener Art, wie sie in Fig. 13 schematisch für den Seewerkalk dargestellt wurde.

Das Gestein muß ungefähr dem Uebergang von Valangien nach Hauterivien entsprechen und ist in Fig. 18 abgebildet. Die weicheren Schichten sind ziemlich mächtig und vereinigen sich immer. Es ist klar,

daß diese Ausbildung nicht ursprünglich ist, denn ein derartiger Sedimentabsatz ist einfach undenkbar. Die Vorteile für die Gesteinsbewegung dagegen sind augenfällig.

Noch fragt es sich, ob Druck oder Lösung bei diesen Gesteinen der entscheidende Faktor ist. Zwar scheint es möglich, daß Druck an und für sich die kleinsten Gemengteile umlagert, für die Bildung toniger Schichten aus einem Kalkgestein aber scheint die Mithilfe des Wassers direkt geboten zu sein. Wo wir überhaupt in verschiedenen Gesteinen die lösende Wirkung und die Bildung von Zwischenschichten festgestellt haben, da erscheint auch in anderen Kalkgesteinen eine Lösung von vorherein wahrscheinlich. Ueberhaupt werden Zwischenschichten von anderer Beschaffenheit eher an Lösung gebunden sein, während der Druck wohl andere Formen, aber nicht eine verschiedene Beschaffenheit einzelner Partien hervorruft.

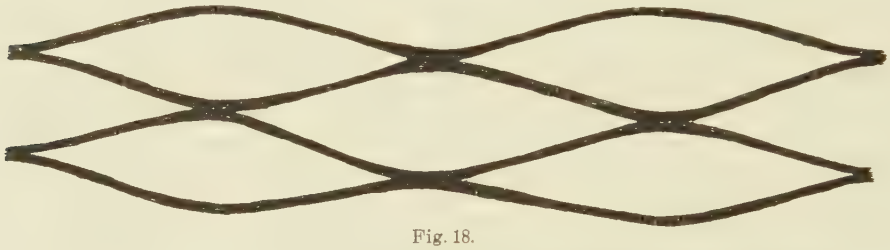


Fig. 18.
Linsige Formen im untern Kieselkalk (Neocom) des Melchtals. 1/3 natürl. Größe.

In Dünnschliffen des Kieselkalkes aus der Sammlung von Arn. Heim waren deutliche Lösungserscheinungen nachweisbar, allerdings stammen die Schliffe aus den harten Gesteinsbänken. Bei Treib und Selisberg ließ sich sicher nachweisen, daß auch für die Zwischenschichten Lösung ein wichtiger Faktor sein muß, wobei besonders Verzweigung, abwechselnde Verwischung und Konzentration der Schichten in Betracht kommen. Verschiedene Erscheinungen erinnern an die Knollenschichten und es kann sogar zur Ausbildung von Knollen kommen.

An der Axenstraße, etwa 700 m von Brunnen entfernt, bekommt der Kieselkalk einen grobknolligen Charakter. Die Wellenbogen werden geschwungener, vereinigen sich oft in den Knoten und wenn auch das einförmige Gestein die Absonderung nicht deutlich sehen läßt, so scheint diese doch durchaus knolliger Art zu sein. Die einzelnen Partien haben einen Durchmesser von 30—50 cm. Das bringt uns noch auf eine andere Frage, nämlich, ob wir nicht bei der bankigen Gesteinausbildung die verdünnten Stellen als eine Art Scharniere ansehen sollen, in welchen eine Biegung und Bewegung leichter möglich war. Der Uebergang von den linsigen Bänken zu den eigentlichen Linsen ist klar, und es ist verständlich, daß die Linsen eine viel größere Beweglichkeit gestatten.

An der gleichen Stelle, unterhalb der Axenstraße, werden die Bänke immer flächer und bleiben oft außerordentlich konstant (Mäuerli-Kalk). Eine gewisse sehr flache Wellung bleibt jedoch stets vorhanden. Die gleichen Schichten durchquert man noch einmal weiter südwärts, wenn man den Tunnel nach Sisikon passiert hat und in den Mittelschenkel der Frohnalpstockfaltung gekommen ist. Auch hier trifft man erst ein grobknolliges bis grobbänkiges Gestein, gelangt dann zu flächeren Bänken. Im Unterschied zu den flachwelligen Bänken des Axensteingewölbes erscheinen diese aber weniger mächtig und fast, wenn nicht ganz eben.

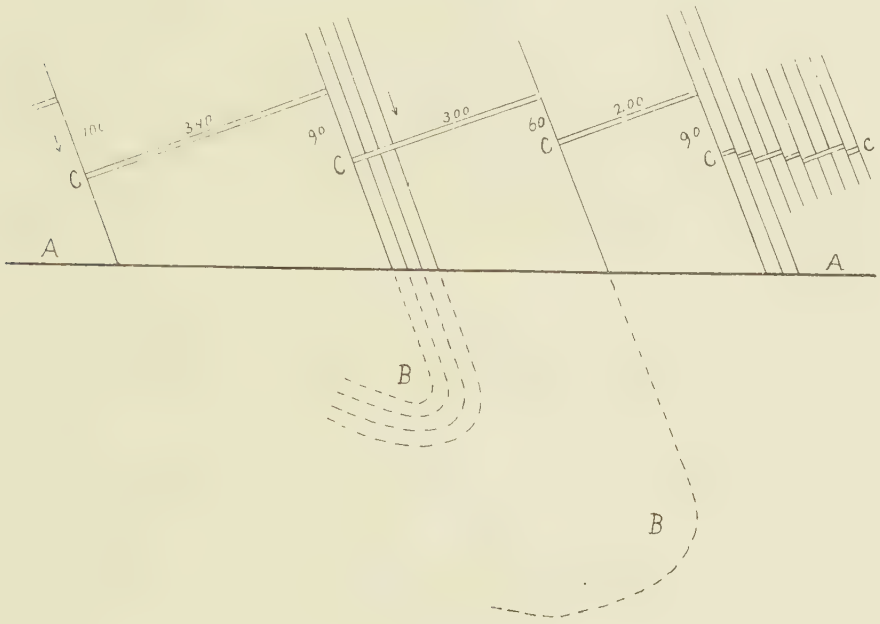


Fig. 19.

Zerreißung einer Calcitader im Kieselkalk des Hauterivien. Axenstraße, Mittelschenkel bei Sisikon. Zahlen: Centimeter.

AA: Niveau der Axenstraße. B: Schematische Angabe der Muldenbiegung, welche die Verschiebung der Schichten und das Zerreißen der Ader bedingt hat. C: Calcitader.

Dieser Unterschied ist wohl deshalb entstanden, weil die Bänke in dem Mittelschenkel einer größeren Zerrung und höherem Druck ausgesetzt waren. Ihre Mächtigkeit schwankt zwischen 8 und 25 cm, während sie an der liegenden Flanke der Mulde etwa 15—35 cm dick sind.

Zufälligerweise war es möglich, Näheres über die Art der Bewegung zu erfahren dank einer Calcitader, die fast senkrecht auf der Schichtung stand, da sie auseinander gerissen wurde (Fig. 19). Weil die Verschiebung der einzelnen Teile regelmäßig in gleicher Richtung stattgefunden hat, ist es nicht unbegründet, anzunehmen, daß die Muldenbiegung das Zerreißen verschuldet habe und die kleinen Verschiebungen dazu dienten, das Ausweichen der äußern Schichten zu fördern. Manchmal waren einige

Schichten miteinander, dann wieder einzeln an der Verschiebung beteiligt. In diesem Fall war das Maß des Ausweichens aber bedeutend geringer als in jenem. Bei einer Gesteinsmächtigkeit von 8,40 m wurde auf diese Weise ein einseitiges Ausweichen von 2,40 m ermöglicht.

Die weicheren Zwischenschichten gehen unscharf aus den härteren Bänken hervor. Diese erscheinen selber oftmals geteilt und gespalten, so daß die ganze Gesteinsart einen schiefrigen Charakter annimmt. Die Zusammengehörigkeit der verschiedenen Gesteinspartien kommt hierdurch besser zum Ausdruck. Die Art der Zwischenschichten ist in den härteren Bänken angedeutet und vorgebildet.

Zur Erklärung der verschiedenen Formen muß man also annehmen, daß eine mehr oder weniger gleichförmige Gesteinsanlage bei der Muldenbiegung differenziert wurde, je nach der Stellung im Bewegungsganzen. Haben wir erst eine embryonale, gleichartige Anlage der Zwischenschichten, wodurch die Bewegung möglich wird, so wird bei der endgültigen Faltenbildung diese Anlage besonders vom Druck je nach den Verhältnissen benützt und differenziert.

Außer diesen Gesteinen gibt es noch viele andere mit knolligen Bildungen oder welligen Linien von irgend einer größeren oder geringeren Regelmäßigkeit. Auch bei diesen dürften häufig ähnliche Bewegungen im Spiel sein. Solche Erscheinungen, die man bis jetzt einfach zu den Schichtungserscheinungen gerechnet hat, folgen der Schichtrichtung deshalb, weil die Sedimente als Ganzes geschichtet sind, d. h. nach der später zu gebenden Definition der Schichtung: sich in **einer** Richtung erstrecken. Deshalb bilden sich die Neuerscheinungen in dieser einen Richtung aus. Ausgeprägte Schichtung durch Fugen oder Trennung ist allgemein eine sekundäre Erscheinung und zwar besonders solchen Gesteinen eigen, die eine Bewegung erlitten haben.

Möglicherweise läßt sich auch die zweite Gruppe der Unregelmäßigkeiten, auf welche Arn. Heim in seiner Churfirsten-Mattstock-Monographie immer wieder hinweist, nämlich die der Mächtigkeitsschwankungen, auf diese Weise erklären.

Neben primären Unterschieden infolge Bodengestaltung und Sedimentzufuhr, und neben sekundären infolge tektonischer Reduktion, werden wir an Schwankungen infolge Auflösung und Schichtbewegung denken müssen. Denn nach dem vorigen scheint es sehr wohl denkbar, daß die Auflösung in einer ganzen Decke sich verschieden geäußert hat und daß es besonders Biegung und Bewegung sind, die eine Mächtigkeitsänderung in Form von dünneren Stellen — Scharnieren — hervorgerufen haben, um eine leichtere Beweglichkeit zu gewinnen.

Doch hält es schwer, darüber etwas Bestimmtes auszusagen, so daß ich mich mit der bloßen Erwähnung der Möglichkeit begnügen muß.

KAP. X.

Schichtwechsel und Gesteinsübergang in der mittleren Kreide.

Die Grenze gegen den Schrattenkalk.

Als dritte Gruppe der in Kap. IV erwähnten Abweichungen sind die Uebergangserscheinungen genannt worden. Darunter sind solche Erscheinungen zu verstehen, die sich beim vertikalen Uebergang einer Gesteinsart in eine andere zeigen. Diese Uebergangserscheinungen sind wohl selten so reichhaltig entwickelt, wie im Walenseegebiet. Auch bei diesen Uebergängen folgt dem primären Gesteinscharakter ein sekundärer. Gerade die Grenzen müssen diese Umwandlungen besonders zeigen, weil der primäre Gesteinswechsel gleichsam den Wechsel der sekundären

Fig. 20.

Kalkbank des mittleren Albien, zurückgeblieben bei der Auflösung; Uebergang zur Knollenbildung. $^1/_5$ natürl. Größe. Oben: eindringender Grünsand, Gänsestad, Mürtschendecke.

Aenderungen nach sich zog. Die stratigraphischen Untersuchungen, die in diesem Gebiet gemacht worden sind, verlieren durch diese Erweiterung durchaus nicht an Wert. Nimmt man aber „Geologie als eine historische Wissenschaft" im Sinne **Joh. Walthers**, so ist die Summe der sekundären Aenderungen vom Bilde abzuziehen, bevor man die ursprüngliche Ablagerung betrachtet. Deshalb sind die Ausführungen von **Arn. Heim** über Meeres- und Sedimentationsverhältnisse mit Vorbehalt aufzunehmen.

Beginnen wir unsere Betrachtungen wieder mit den Aubrigschichten, von denen Arn. Heim sagt: „Daß sich die Knollen auch zu knolligen Bänken vereinigen können". Da wir nun die Entstehungsweise der Knollen kennen, können wir umgekehrt sagen: die knolligen Bänke wurden nicht in Knollen zerteilt, das Gestein hielt in Bänken zusammen. Die tieferen Twirrenschichten zeigen diese Erscheinung oft noch viel ausgesprochener als die Aubrigschichten.

Fig. 20 gibt eine Darstellung dieses Gesteins und zwar aus der Mürtschendecke vom Gänsestad (Walensee). Nach den Ausführungen von Arn. Heim sind hier die grünsandigen Schichten zwischen der massigen Aubrigschicht und dem Schrattenkalk als mittleres Albien zu betrachten.

Sie entsprechen den Twirrenschichten, vielleicht in der unteren Hälfte teilweise den Flubrigschichten. Von diesem Gestein schreibt Arn. Heim (pag. 229): „Diese Gruppe besteht aus kalkigem, schiefrigem Grünsand mit bis 20 cm dicken Bänken von inwendig feinkörnigem Kalk mit vielen feinsten Glaukonitkörnchen. Im oberen Teil sind sie eben, aber nicht scharf vom Nebengestein abgegrenzt."

In Fig. 20 ist eine dieser Bänke abgebildet. Es lassen sich folgende Tatsachen feststellen.

1. Nach oben zeigt die Kalkbank eine schärfere Grenze als nach unten. Außerdem ist der überlagernde Grünsand mehr konzentriert.
2. Der Grünsand dringt in eigentümlicher Weise in die Kalkbank ein.
3. Die ganze Bank wird von Grünsandschlieren durchsetzt.
4. Man bemerkt, daß der seitliche Uebergang verschwommen ist.

Diese Erscheinungen erinnern an die Knollenbildung und wir finden sogar unmittelbare Uebergänge zu derselben. Am meisten interessieren uns die Grenzen der Kalkbank. Abgesehen von der Frage, ob diese Bank infolge einer Härtedifferenz oder einer anderen Ursache erhalten blieb, sind hier Gegensätze ausgeprägt, die als solche dem Gestein ursprünglich gar nicht eigen waren und es sind Uebergänge entstanden von einer Schärfe, die der Natur der Ablagerung gar nicht entspricht. Wäre man auf eine solche Oberfläche allein angewiesen, so ließe sich auf bedeutende Aenderungen beim Sedimentabsatz schließen. Man würde an Karrenbildung oder wenigstens an vollständige Unterbrechung der Sedimentation denken — und würde damit die ganze Sachlage gründlich verkennen.

Dieses Beispiel im Kleinen ist das Schema für die Vorkommnisse im Großen. Zwar waren die Meeresablagerungen sehr verschieden und kamen unter wechselnden Bedingungen zustande, aber eine Reihe längerer Unterbrechungen oder gar Landperioden kommen nicht in Betracht. Nur an der oberen Schrattenkalkgrenze haben sich die Ablagerungen nicht regelmäßig weiter entwickelt. Wenn Arn. Heim von „messerscharfer Grenze, vielleicht lokaler Diskontinuität gegen . . . ." oder von „teilweiser, scharfer Grenze, anderseits allmählichem Uebergang in . . . . " spricht, so bedenke man, daß hier sekundär entstandene Uebergänge vorliegen. Und, wenn wir allmähliche Uebergänge oder scharfe Grenzen wahrnehmen, so besteht die Frage, wie wohl der primäre Uebergang gewesen sei, ob dieser Uebergang bei der Auflösung erhalten blieb oder vielleicht eine andere Form bekommen hat.

Betrachten wir die Oberfläche des Schrattenkalkes. Hier haben wir die wichtigste Grenze der ganzen Gruppe, eine immer scharfe, oft sogar karrige Fläche, deren Unregelmäßigkeiten von Arn. Heim besonders im Zusammenhang mit der Luiterezug-Fossilschicht (pag. 348—351)

beschrieben worden sind. Auf diese Oberfläche folgen Ablagerungen sehr verschiedener Art. Doch ist der Gegensatz nicht so scharf, wie ihn die jetzige Grenze vermuten läßt. Diese Oberfläche blieb unter dem Meeresspiegel, hat keine besonderen Veränderungen erlitten und ist allmählich von sehr verschiedenen Ablagerungen zugedeckt worden. Erst die Auflösung rief diese außerordentlich scharfe Grenze hervor. Um dies zu verstehen, sollen erst die Daten des primären Gesteinswechsels festgestellt werden.

1. Der obere Schrattenkalk mit seinen Nerineen, Austern und Korallen scheint eine neritische Bildung zu sein.
2. An der Oberfläche werden hie und da Pholadenlöcher gefunden.
3. Dem Schrattenkalk ist oben teilweise etwas Glaukonit beigemischt und darüber folgen Glaukonitbänke mit Fossilien, von denen Arn. Heim (pag. 357) sagt: „Sie zeigen eine sonderbare Mischung von echt neritischen Formen mit verwandten von bathyalem Charakter".
4. (pag. 362) „Sehen wir ab von der Luiterezug-Fossilschicht, so finden wir dort, wo das Albien mit Diskontinuität auf den Aptkalken ruht, meist an der extremen Basis desselben eine wenn auch oft noch so dünne Bank mit phosphoritischen Knöllchen und Petrefaktensteinkernen, zum mindestens mit Inoceramus concentricus. Diese Basisbank ist im Säntisgebiet besonders verbreitet und haftet oft in karrenähnlichen Vertiefungen des Schrattenkalkes."

Daraus ergäbe sich folgendes Bild: Der Schrattenkalk wurde in einer Flachsee gebildet, seine Oberfläche befand sich eine Zeit lang wenig unter dem Wasserspiegel, dann aber fand ein Sinken statt. Mit diesem Absinken setzte im Südosten sofort neue Sedimentationszufuhr ein, im nordwestlichen Gebiet aber blieb sie aus oder beschränkte sich auf geringe Grünsandablagerung, die erst später, als die Sedimentation immer mehr nach Nordwesten fortschritt, von andern Sedimenten überlagert wurde.

Nun hat **Tolwinski** für das Gebiet der Grauen Hörner eine Abtragung des Schrattenkalkes nachgewiesen, allerdings ohne die Art dieser Ablagerung näher zu kennzeichnen, und es fragt sich deshalb, ob wir diese prägnante Oberfläche nicht als Bildung einer Landperiode ansehen müssen. Auch **Arn. Heim** wirft diese Frage auf, aber macht dazu folgende ausschlaggebende Bemerkung (pag. 362): „Nehmen wir das gleiche (eine Festlandperiode mit nachfolgender Transgression) für die Thurgruppe an, so müssen wir uns fragen, wie es möglich war, daß trotzdem im ganzen die obere Grenze des Schrattenkalkes als ebene Fläche erhalten geblieben sein könnte, und sich nirgends eine größere Furche im Schrattenkalk findet, die von Gault ausgefüllt wäre; selbst nicht einmal Spuren von Terra rossa sind bekannt geworden". Diese Betrachtung

berechtigt uns, das Vorkommen einer Landperiode wenigstens für dieses Gebiet zu verneinen. Welche Bedeutung aber hat dann die Lücke zwischen dem Schrattenkalk und den folgenden Sedimenten der mittleren Kreide?

Arn. Heim führt (pag. 362) aus: „Aus der Zunahme der Schichten, die sich nach Südosten über den Schrattenkalk einschalten, so daß die Schichtfolge ein je länger je vollständigeres Aussehen erreicht, wird man zur Annahme gedrängt, daß im Südosten die Lücke der Ablagerung am geringsten sei. In der Tat läßt sich eine Lücke auf palaeontologischer Grundlage nicht mehr sicher nachweisen, indem über dem oberen Schrattenkalk (Bedoulien bis unteres Gargasien) direkt die nächst jüngere Unterstufe des Gargasien nachgewiesen ist. Dementsprechend hat E. Ganz auch lokale, rasche Gesteinsübergänge konstatieren können. Jedoch fragt es sich, ob diese nicht sekundär durch Aufarbeiten enstanden seien. Im allgemeinen können wir sagen, daß die Diskontinuität auch noch in den vollständigsten der bisher bekannten Profile bestehen bleibt. Die Glätte der Kontaktfläche, wie sie an verschiedenen Stellen der südöstlichsten Zone konstatiert wurde, deutet ebenso darauf hin, daß die Diskontinuität nicht die Folge langer Trockenlegung, sondern wahrscheinlich nur durch Unterbruch der Sedimentation ohne Emersion erfolgte".

Aber die Tatsache der karrigen Oberfläche bleibt bestehen, auch wenn wir darin nicht die Wirkung einer Landperiode erblicken. Also müßte man annehmen, daß diese Fläche unter Wasser modelliert worden ist. In Kap. VII ist schon darauf hingewiesen worden, daß man nicht ohne weiteres solche Vorgänge annehmen darf. Die Karren sind und bleiben Formen eines festen Gesteins und entstehen nicht unter den gleichmäßigen Bedingungen des Meereswassers.

Auch in diesem Fall ist es das Wasser, das im Gestein als nachträglich umwandelndes Agens gewirkt hat. Dort wo ein primärer Sedimentwechsel vorlag, änderte sich auch die Umwandlungsmöglichkeit. Während nämlich die Schichten der mittleren Kreide dem Wasser eine günstige Gelegenheit boten, seine Lösungskraft zu betätigen, setzte mit dem Schrattenkalk eine andere Art der Kalkablagerung ein, die nicht der Auflösung anheimfallen konnte. Damit aber war eine Grenze gegeben, wo das Wasser nur noch die Oberfläche des Kalkes zu bearbeiten vermochte. Deshalb sind die besonderen Erscheinungen an der Oberfläche des Schrattenkalkes als eine Ausbildung dieser Grenze anzusehen. Der Schrattenkalk steht in schroffem Gegensatz zum Seewerkalk und verhält sich in diesem Fall genau wie die Maastrichter-Kreide sich zur Gulpener-Kreide verhält in Limburg. Auch die Maastrichter-Kreide wird nur an der Oberfläche angegriffen, ein Prozeß, der auch dann noch stattfindet, wenn andere Schichten der Kreide überlagern. Die Ursache dieses Gegensatzes zwischen Schrattenkalk, Maastrichter-Kreide einerseits und

Seewerkalk, Gulpener-Kreide andererseits, scheint in dem Gesteinsbau zu liegen: Diese Ablagerungen bestehen aus feinsten Teilchen, während jene viele und größere Partikelchen, sowie reichlich Fossiltrümmer enthalten; der Schrattenkalk weist außerdem noch reichlich Oolithe auf. Ein solcher Bau scheint im Gegensatz zu einem feinen Pulver eher Gesteinsverkittung und Verfestigung hervorzurufen, weil die Bausteine gegeben sind.

Es folge eine Beschreibung der jetzigen Uebergänge. Diese sind verschiedener Art:

1. Die nächst höhere Schicht liegt mit scharfer Grenze auf der Oberfläche des Schrattenkalkes.
2. Die höhere Schicht dringt in Form von Spalten und Taschen in die Oberfläche ein; die Schichten scheinen ineinander verzahnt.
3. Es findet zwischen den beiden Schichten ein Uebergang statt, bei dem man in einigen Zentimetern oder Decimetern vom einen zum andern Gestein gelangt.
4. Stellenweise scheint ein Uebergang vorzukommen, daneben aber bemerkt man eine scharfe Grenze oder gar eine Verzahnung.

Fall 1 kann sowohl primär als auch sekundär entstanden sein.

Fall 2 könnte primär vorkommen, aber nur, wenn eine Landoberfläche überschwemmt wurde. Weil das hier offenbar nicht geschehen ist, muß die Entstehung sekundärer Art sein.

Fall 3 ist typisch für primäre Ablagerung, kann sich aber bei späteren Umwandlungen sehr wohl erhalten haben.

Fall 4 läßt sich nur als eine sekundäre Erscheinung deuten. Wenn wir einen Uebergang vorfinden und daneben eine Tasche oder Vertiefung mit scharfer Grenze in das liegende Gestein eindringt, so ist dieses Nebeneinander nur durch Umwandlung zu erklären.

Es ergibt sich folgendes: Der vierte Fall spricht unbedingt, der zweite bedingt für eine sekundäre Entstehung, während der erste und dritte Fall die Möglichkeit sowohl einer primären als auch einer sekundären Entstehung zulassen. Demnach ist die obere Schrattenkalkgrenze als eine primäre Linie anzusehen, wobei das Auffallende, Ungewöhnliche dieser Linie als eine sekundäre Ausprägung zu betrachten ist.

Wenn im Südosten mit dem Sinken des Schrattenkalkes die Sedimentation sich geändert hat, so darf man daraus noch nicht auf eine Lücke in der Ablagerung schließen. Die von **E. Ganz** im südöstlichen Gebiet beobachteten Uebergänge dürften sehr wohl primärer Natur sein und es ist nicht notwendig, sie durch Aufarbeiten des Bodens zu erklären, besonders weil die stratigraphische Folge, wie Arn. Heim ausführt, lückenlos gegeben ist. Wenn im Nordwesten dagegen die Sedimentation aussetzte oder auf eine geringe Grünsandbildung beschränkt blieb, so hatte das eine bedeutende stratigraphische Lücke zur Folge.

Diese Ueberlagerung ist demnach so kompliziert, daß eine scharfe Unterscheidung durchaus not tut. Nicht nur eine zeitliche Grenze liegt vor, sondern auch eine Umwandlungsgrenze. Wählen wir zum Zwecke der Erklärung noch einen bestimmten Fall, den Arn. Heim (pag. 251—252) beschreibt und der das Vorkommen einer solchen Ueberlagerung am Nägeliberg betrifft. Dieser Fall ist übersichtlich und außerdem existiert von dort her ein merkwürdiger Dünnschliff. Es war Arn. Heim besonders um die dort befindliche Fossilschicht zu tun, und so schreibt er: „Die eigentliche fossilreiche Schicht ist nur 5—10 cm mächtig und besteht aus feinkörnigem, quarzreichem Glaukonitsandstein, der weder makroskopisch noch mikroskopisch vom echten Brisisandstein zu unterscheiden ist. Der oberste Schrattenkalk schien mir wie angefressen, karrig ausgelaugt und die Löcher mit Brisisandstein von oben her ausgefüllt zu sein. Dem entsprechend zeigt ein Dünnschliff messerscharf begrenzte Spaltrisse, die mit Glaukonitsandstein gefüllt sind". Und weiter: „Eine genauere Untersuchung der an Individuen massenhaften Petrefakten läßt deutlich erkennen, daß die knorrige Fossilschicht entsprechend ihren zwei ineinander verzahnten Gesteinen auch zwei faciell verschiedene Faunen enthält.

1. Die an die Schrattenkalkpartien gebundene ist die typische Schrattenfauna mit vielen Requienien, etc.
2. Die andere Fauna ist allein typisch für das grünsandige Gestein".

Daß aber eine Fossilschicht entsprechend ihren zwei ineinander verzahnten Gesteinen auch zwei faciell verschiedene Faunen enthält, dies scheint doch nicht so selbstverständlich zu sein.

In Fig. 21 ist von diesem Ort eine in den Schrattenkalk hinabreichende Grünsandpartie dargestellt. Die einzelnen Grünsandkörner dringen zackig in den Schrattenkalk ein, der Grünsand enthält Reste des Kalkes, hauptsächlich der Oolithe, und endlich schneidet der Grünsand eine Calcitader. Dies ist ein sicheres Zeichen der sekundären Entstehung, denn unter Wasser kann die abgelagerte Sedimentmasse keinesfalls schon Spalten bekommen haben, die von Calcit ausgefüllt wurden. Ist damit der sekundäre Charakter der Grünsandtaschen festgestellt, so verstehen wir erstens, daß im Grünsand oft größere oder kleinere Kalkstücke liegen, die nicht als Gerölle zu betrachten sind, sondern als Reste (vergl. Fig. 21 u. 22), und zweitens, daß wir im Grünsand die Schrattenkalkfauna vorfinden. Der Grünsand ist demgemäß aufgebaut aus Schrattenkalkresten und aus einem ursprünglich diesem Kalk überlagernden Grünsand mit eigener Fauna. An der durch Auflösung sich sekundär bildenden Grenze wurden die widerstandsfähigen Schrattenkalkfossilien mit der jüngeren Fauna vermischt. Gewissermaßen läßt sich die Erscheinung vergleichen mit der Bildung eines Belemnitenhorizontes an der Basis der Gulpener-Kreide in Limburg. Der Grünsand kann den Glaukonit teilweise auch vom Schrattenkalk

erhalten haben. In den oberen Partien desselben nämlich ist dem Kalk oft etwas Glaukonit beigemischt. Diese Beimischung ist ursprünglich und streng zu unterscheiden von der heutigen, scharfen Auflagerung des Glaukonitsandes auf dem Schrattenkalk. Damit ist neuerdings eine Komplikation gegeben, denn obwohl zwar diese Beimischung von Glaukonit zur nachträglichen Bildung der dem Schrattenkalk überlagernden Grünsandschicht beigetragen hat, so war sie doch ein Nebenfaktor und hat die Bildung dieser Schicht nicht eigentlich veranlaßt.

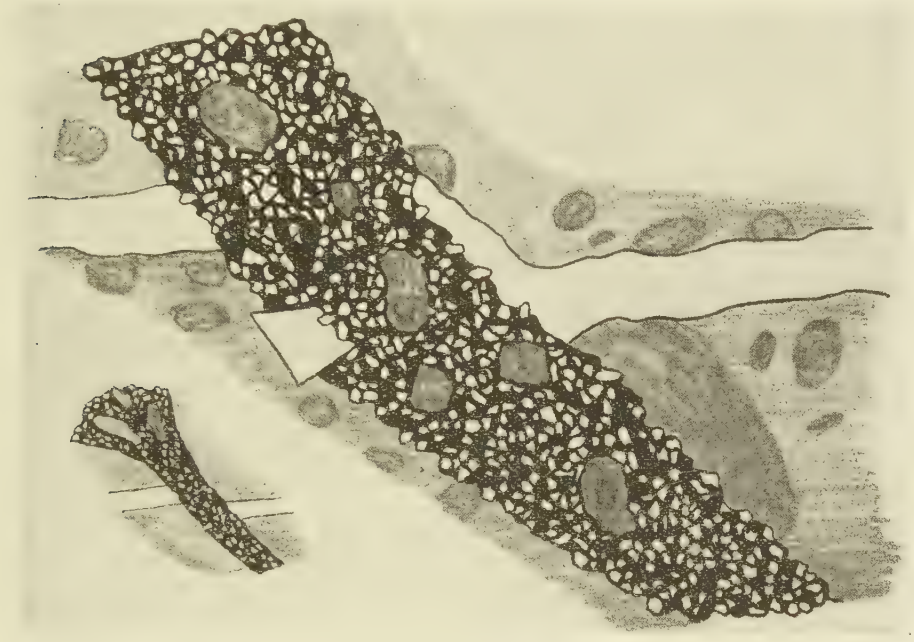


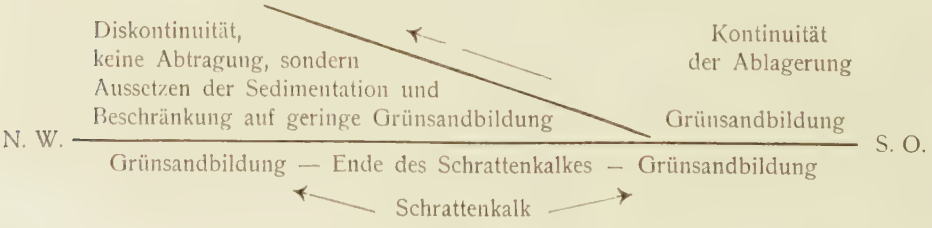
Fig. 21.
Glaukonitsand dringt in den Schrattenkalk ein und schneidet eine Calcitader. Vergr. 1:11.
Nägeliberg-Churfirsten.
Schwarz-weiß: Glaukonitsand. Grau: Kalk mit Oolithen. Weiß: Calcitader.

Es folge zur Erläuterung noch die Beschreibung vom Luiterezug bei Dallenwil im Engelbergeraatal (pag. 348): „Das Schrattenkalkgestein leitet innerhalb etwa 20 cm in die eigentliche phosphoritische Fossilbank über, indem Spalten und Schlieren in den Schrattenkalk eindringen und diesen mehr und mehr verdrängen, bis nur noch knorrige, zerfressene und ausgelaugt aussehende Brocken von Schrattenkalk in dem bereits fossilreichen Grünsandgestein eingebettet liegen". Die Beschreibung ist vollkommen verständlich, wenn man sich an die sekundäre Art der Bildung hält. „Bei näherem Betrachten", heißt es weiter, „findet man unter den Brocken auch stark glaukonithaltigen Schrattenkalk voller dunkelgrüner Körnchen in der Schrattenkalkgrundmasse, die niemals sekundär von oben her eingedrungen sein können. In einem solchen

Stück sah ich bereits Discoides decoratus, also ein Fossil der eigentlichen Fossilschicht, bereits in grünsandigen und pyrithaltigen Schrattenkalk eingeschlossen". Hier wie an anderen Stellen ist der Schrattenkalk zuletzt, wahrscheinlich bei seinem Absinken, einer wenig bedeutenden Grünsandfacies gewichen. Dieser Uebergang wurde später in bekannter Weise ausgeprägt.

Entspricht nun die Fauna, die nicht mehr dem Schrattenkalk, sondern dem Grünsand eigen ist, einem bestimmten Horizont? Ist es angebracht, jede Fossilbank über dem Schrattenkalk mit dem Namen Luiterezug-Fossilschicht zu bezeichnen? Es läßt sich nur soviel behaupten, daß sie der Ablagerungszeit zwischen dem Schrattenkalk und der nächst höheren Schicht entsprechen. Wenn also im Tal der Engelbergeraa auf die Fossilschicht Luiteremergel folgt, so ist die Zeit hierdurch begrenzt, wenn aber am Nägeliberg Brisisandstein folgt, so ist die Zeit gleichfalls festgelegt, nur ist der Zeitraum erweitert. Ist nun die Fossilbank hier und dort in der gleichen Zeit, also vor dem Luiteremergel gebildet, oder entspricht die Schicht des Nägeliberges einer späteren Periode? Die Uebereinstimmung mit dem Brisisandstein könnte es nahelegen, den Grünsand der Fossilschicht und der Brisischicht als eine zusammenhängende Ablagerung zu betrachten, eine Auffassung, der Arn. Heim ursprünglich zuneigte. Dann aber ist E. Ganz und auch Arn. Heim durch eine vermeintliche Trennung innerhalb dieser Schichten an der Amdener Straße dazu gebracht worden, einen Unterschied zwischen dem Brisisandstein und dem Grünsand der Fossilschicht zu sehen. Diese Ansicht ist nicht gerechtfertigt, denn die Trennung ist nur scheinbar. Eine Absonderung hat sich nur teilweise vollzogen, und kam dadurch zustande, daß die knollige Phosphoritschicht bei der Verwitterung mit dem Schrattenkalk zusammenhielt und sich infolgedessen eine Trennungsfläche über der Fossilschicht bildete. Wir finden aber an der Amdener Straße auch im Brisisandstein noch Phosphoritknöllchen und Fossilreste. Diese Frage könnte also nur durch paläontologische Befunde entschieden werden, was Arn. Heim in dem Sinne tut, daß er die Unterschiede in der Fauna dieser Fossilschichten als provinzielle Differenzen ansieht. Es ist aber angezeigt, in diesem verwickelten Fall auch die andere Möglichkeit ins Auge zu fassen.

Kleine Uebersicht der Ablagerung.



Interessant ist eine ähnliche Erscheinung im Neuenburger Jura. In den „Mélanges géologiques sur le Jura neuchâtelois et les régions limotrophes", Nr. V (Bull. Soc. Neuch. Sc. nat. XXIX 1901): „Nouveau gisement d'Albien à La Coudre, près Neuchâtel" bespricht **H. Schardt** ausführlich das Vorkommen einer eigentümlichen Grünsandschicht des Albien über dem Urgon, ein Vorkommen, das von ihm beim Bau der Eisenbahn gefunden und beobachtet wurde. Unter einer Moränenablagerung ist in einer leichten Muldenbiegung des Urgon ein wahrscheinlich linsenförmiger Rest von Albien erhalten. Die Fossilien, sowie die vielen Phosphoritknollen, lassen das Alter genau feststellen. Am merkwürdigsten aber war die Beobachtung, daß diese Ablagerung in Form von Spalten und Taschen in das Urgon hineindrang. H. Schardt hat verschiedene Mal die Wirkung des unterirdischen Wassers in Jurakalken, sowie die Ausfüllung der Spalten mit terra-rossa-artigem Lehm beschrieben, und auch hier sprachen seine Wahrnehmungen deutlich für eine Entstehung dieser anormen Lagerungsverhältnisse auf hydrochemischem Wege. Zwei Erklärungen schienen H. Schardt möglich.

Erstens konnte die Auflösung im Meere durch kohlensäurehaltige Quellen während der Ablagerung stattgefunden haben. Zweitens konnte nach der Ablagerung das Wasser auf unterirdischem Wege diese Bildungen erzeugt haben. Diese letzte Erklärung stimmt ganz mit der Ansicht überein, wie sie in dieser Arbeit ausgesprochen wurde. Die Lage dieser Grünsandschicht nahe an der Oberfläche macht eine derartige Erklärung sehr wahrscheinlich. Ueberdies bietet sie eine wertvolle Ergänzung zu den Beobachtungen im Walenseegebiet.

KAP. XI.

Fortsetzung. Die Grenzen innerhalb der mittleren Kreide.

Die andern Uebergänge lassen sich leicht nach dem gleichen Schema verstehen. Als zweite Diskontinuität erwähnt **Arn. Heim** eine solche zwischen Luiteremergel und Gamserschichten. (Fig. 8 *B B*). „Einzig am Hurst in der Alviergruppe" heißt es pag. 363, „als scharfe glatte Grenze beobachtet; vielleicht handelt es sich nur um plötzlichen Facieswechsel, jedenfalls nicht um Emersion". Einem Mergel folgt hier ein kalkhaltiger Grünsand. Dies kann lokal einen scharfen Schichtwechsel verursachen, weil der Mergel für das Wasser wenig durchlässig ist. Eine primäre Diskontinuität anzunehmen, ist ohne weitere Begründung gar nicht notwendig.

Das Gleiche gilt für den Uebergang zwischen Gamserschichten und Brisibreccie (Fig. 8 *C C*). Arn. Heims Beschreibung des Ueberganges (pag. 363) genügt vollständig, um den Charakter zu erkennen: „Die

Grenze ist glatt und stellenweise messerscharf, daneben kommen aber auch deutliche Uebergänge vor, die beweisen, daß auch an den Stellen scharfer Grenze keine nennenswerte Lücke existiert. Es handelt sich wohl auch hier um plötzlichen Facieswechsel, um eine zweite Etappe sprungweiser Vermehrung der Quarzkörner". Die Brisibreccie überlagert einen Grünsand oder grünsandigen Kalk mit reichlicher Tonbeimischung. Dieser Uebergang, der primär allmählich stattgefunden haben kann, wurde nachher stellenweise schärfer ausgeprägt, andrerorts verwischt.

Als dritte Diskontinuität nennt Arn. Heim die obere Grenze der Brisibreccie (pag. 363): „Während in den östlichen Churfirsten und im westlichen Alviergebiet Kontinuität von den Brisischichten zu den Durchschlägischichten erkennbar ist, findet man im nordwestlichen Gebiet oft eine scharfgezeichnete Diskontinuität mit zum Teil höckeriger Oberfläche oder karrenförmigen Spalten der Echinodermenbreccie.

An der Durchschlägi ist wieder Kontinuität vorhanden, jedoch beweisen Bohrmuscheln, daß die Ablagerung in sehr geringer Meerestiefe stattfinden mußte. Verwitterungsprodukte, die wir auf der Basis-diskontinuität vermißten, sind hier tatsächlich beobachtet. Wir müssen also schließen, daß es sich hier um eine, wenn auch nur wenig verbreitete, echte Transgression oder Transmersion handelt".

Hier liegt die zweitwichtigste Grenze der ganzen Schichtfolge vor. Es handelt sich dabei um die gleichen Erscheinungen, wie beim Schrattenkalk. Wenn wir aus der Natur der Breccie nicht mit Sicherheit auf deren Ablagerungsverhältnisse schließen können, so scheint das Vorkommen von Bohrmuscheln, wenn es auch nur an einer Stelle beobachtet ist, anzudeuten, daß die Oberfläche nahe dem Wasserspiegel gelegen hat. Auch die Durchschlägischichten dürften, nach der bedeutenden Korngröße und dem Fossilreichtum zu schließen, in nicht sehr tiefem Wasser abgelagert worden sein. Daß aber eine Erhebung über den Meeresspiegel ihrer Ablagerung vorangegangen ist, ist zweifelhaft. Unrichtig scheint mir die Gegenüberstellung einer Diskontinuität im nordwestlichen und einer Kontinuität im östlichen Gebiet. Ueber diese Kontinuität heißt es (pag. 319): „— — wobei die Echinodermenbreccie allmählich in Form von Nestern und Schlieren durch Grünsand verdrängt wird, bis nur noch Knollen (Gerölle?) von Echinodermenbreccie im Gründsand eingebettet liegen".

Die höchst merkwürdige Erscheinung einer solchen Kontinuität trägt wohl nur deshalb ihren Namen, weil sie nicht wie die Diskontinuität des weiteren Gebietes eine Art Verwitterungslehm zeigt. Hie und da, wie bei Wildhaus und am Gulmen liegt ein ockerbrauner Lehm in karrenartigen Taschen der Brisibreccie, während er bei Amden wieder fehlt. Dieser Lehm ist als Rückstand der Auflösung zu betrachten, wie

die ensprechenden ähnlichen, sekundären Tonschichten aus Limburg. Die Grenze zwischen Breccie und Durchschlägischicht wurde bei der Gesteinsumwandlung ausgeprägt, denn die Breccie war bedeutend weniger durchlässig, als der Grünsand. Die Knollen des Brecciengesteins, die im Grünsand enthalten sind, tragen nicht den Charakter der Gerölle, sondern sind als Reste anzusehen, die der Auflösung entgangen sind.

Fig. 22.

Uebergang Echinodermenbreccie – mittleres Albien Grünsand mit Phosphatknollen, Belemniten und Lösungsresten der Breccie. $^1/_2$ natürl. Größe. Gänsestad, Mürtschendecke. Grau: Echinodermenbreccie. Schwarz-weiß: Grünsand. Schwarz: Phosphatknollen.

Ueberhaupt lassen sich an jeder Grenze Unregelmäßigkeiten beobachten. Um diese zu erklären, müßten wir immer wieder eine Diskontinuität annehmen. Zunächst würden wir eine mittlere Diskontinuität zwischen der oberen und unteren Hälfte der Durchschlägischichten antreffen, welche lokal am Leistgrat beobachtet worden ist. Sodann finden wir eine dritte Diskontinuität an der oberen Grenze dieser Schichten.

Erst soll noch der Uebergang zwischen Echinodermenbreccie und Grünsand am Gänsestad besprochen werden. Fig. 22 stellt diesen Ueber-

gang dar. Er entspricht nach Arn. Heim der Grenze zwischen Brisibreccie und Durchschlägischicht. Tiefe (bis 1,5 m) Schlote und viele, mit Grünsand gefüllte kleinere Kanäle dringen in die Echinodermenbreccie ein. Oben häuft sich der Grünsand immer mehr an, und die Breccie wird in einzelne Stücke zerlegt. Im Grünsand liegen neben Phosphoritknollen und vielen kleinen Belemniten noch Stücke des Brecciengesteins. Diese Stücke sind unregelmäßig geformt und von einzelnen Grünsandstreifen durchsetzt. Nichts in der Gestalt kennzeichnet sie als Gerölle, und nichts in der Lage besagt, daß irgend eine Bewegung stattgefunden hat. Deshalb sind sie als Reste des unterliegenden Gesteins zu betrachten.

Falls die Echinodermenbreccie am Gänsestad der Brisibreccie entspricht, würde der phosphoritische Grünsand als Durchschlägischicht zu betrachten sein. Die Frage nach der stratigraphischen Stellung dieser Echinodermenbreccie wird von Arn. Heim eingehend geprüft (pag. 326–329) und ein Zusammenhang dieser Breccie, die ohne schärfere Scheidung aus dem Schrattenkalk hervorgeht, mit der echten Brisibreccie wahrscheinlich gemacht. Die wichtigste Umwandlungsgrenze befindet sich sonst an der Schrattenkalkoberfläche. Wo am Gänsestad die Oberfläche der Breccie als solche erscheint, da bedeutet das eine Verlegung der Hauptgrenze. Wo Breccie dem Schrattenkalk ohne Zwischenschicht überlagerte, da wurde wahrscheinlich der Uebergang nicht ausgeprägt. Die Gleichartigkeit des Gesteins verlegte die Hauptgrenze der Umwandlung an die Oberfläche der Echinodermenbreccie, die mit dem Schrattenkalk gewissermaßen eine Einheit bildet.

Arn. Heim erwähnt als vierte Diskontinuität (pag. 363) diese an der Oberseite der Durchschlägischichten (Fig. 8 *E E*): „Diese ist ebenso nur im nordwestlichen Gebiet der Säntisdecke konstatiert, und zwar von Amden bis Wildhaus. Vielleicht ist diese Diskontinuität weiter ausgedehnt, soweit einerseits die Durchschlägischichten reichen, anderseits die Niederischichten fehlen Der Kontakt ist, soweit zu sehen, messerscharf und eben. Anzeichen einer Festlandperiode sind nicht zu sehen. Es handelt sich vermutlich um einen bloß submarinen Unterbruch der Sedimentation, entsprechend etwa der Ablagerungszeit der Niederischichten in der südöstlicheren Zone.“

Die Durchschlägischichten waren eine Flachseeablagerung. Ihre Bildung endete wohl mit einem Absinken. Bei oder nach dieser Niveauänderung setzte ein neuer Absatz ein, der in dem genannten Gebiet die Flubrigschichten bildete: einen Kalk mit oft reichlicher Ton- und Körnerbeimischung. Die jetzige Grenze könnte also der Nichtablagerung der Niederischichten entsprechen; wo aber diese in horizontaler Richtung mit den Flubrigschichten zusammenhängen, da wäre es nicht unmöglich, daß ihre Ablagerung doch gleichzeitig stattgefunden hätte, und daß der Ueber-

gang, Durchschlägi - Niederischichten einerseits, Durchschlägi - Flubrigschichten anderseits, nachher bei der Auflösung sich verschieden gestaltet hätten. Denn von der ersten Grenze heißt es, ein rascher Uebergang finde statt, wobei auf die grünsandige Durchschlägischicht ein kalkarmer Glaukonitsand folgt. Von der letzten Grenze dagegen heißt es, sie sei scharf ausgeprägt, und hier folgt ein glaukonithaltiger Kalk. Wenn Flubrig- und Niederischichten einander vertreten und gleichaltrig sind, so wäre der Gesteinswechsel so zu verstehen, daß die Flubrigschichten die mehr kalkartige Ausbildung der Niederischichten sind. Dann aber wäre der Unterschied des Ueberganges in dem westlichen und östlichen Gebiet nicht zeitlich zu begründen. Vielmehr würde dort, wo auf der grünsandigen Durchschlägischicht der kalkarme Grünsand lag, die Grenze ihren ursprünglichen Charakter behalten haben, wo aber die kalkreiche Ablagerung folgte, die Grenze durch eine intensive Lösung verschärft sein. Daß eine solche Verschärfung stattgefunden hat, daraufhin weist noch eine andere Erscheinung. Arn. Heim sagt nämlich in dem vorigen Passus, daß keine Zeichen einer Festlandperiode vorliegen. Nun aber erwähnt er eine eigenartige, tonige Schicht nicht nur an der Basis der Durchschlägischicht, sondern auch an ihrer oberen Grenze, und zwar am Gulmen und bei der Durchschlägi. Es fragt sich nun, ob diese tonige Schicht nicht auch als Zeichen einer Festlandperiode aufzufassen ist. Die Tatsache, daß an der Basis der Durchschlägischicht der Ton auf einer karrigen Fläche der Brisibreccie liegt, an der Oberseite aber als eine dünne, gleichmäßige Schicht vorhanden ist, hat wahrscheinlich Arn. Heim dazu geführt, nur die untere Tonschicht als Bildung einer Festlandperiode anzusehen.

Bei der oberen Tonschicht denkt auch Arn. Heim an sekundäre Entstehung. Er sagt (pag. 245): „Diese sonderbare Schichtlage (der plastische Ton) ist wohl aus lokaler, tiefgründiger Verwitterung einer glaukonitischen Mergellage hervorgegangen". Auch die obere Grenze ist wohl sekundär ausgeprägt worden, und die zeitliche Dauer ihres Entstehens ist kein wichtiger Faktor, jedenfalls nicht wichtiger als bei den Niederischichten, wo ein Uebergang ohne scharfen Schichtwechsel vorhanden ist.

Nun hören die Diskontinuitäten auf und die folgenden Schichten gehen ohne scharfe Grenzen auseinander hervor: Flubrigschichten—Twirrenschichten—Aubrigschichten—Turrilitenschichten. Diese Schichten waren ursprünglich alle sehr kalkreich. Gerade sie haben eine weitgehende Umwandlung durchgemacht, mehr sogar als die tieferen Schichten. Weil aber kein Gesteinsgegensatz vorlag, wurden keine scharfen Grenzen ausgeprägt.

Kurz gefaßt kommen wir zu folgendem Resultat: Zeitlich wichtige Grenzen kommen nicht vor. Die scharfen Grenzen sind durch die Auf-

lösung hauptsächlich dort ausgeprägt worden, wo ein primärer Gesteinswechsel gegeben war. Eine große Ablagerungslücke folgt dem oberen Schrattenkalk. Sonst aber hat ein zwar wechselnder, jedoch eher regelmäßiger Sedimentabsatz stattgefunden, wobei wir nirgends gezwungen sind, zeitliche Lücken irgendwelcher Bedeutung anzunehmen. Die Ablagerung der Durchschlägischichten ging nicht so regelmäßig vor sich. Bei ihrem Absatz und nach der Schrattenkalkbildung scheinen die wichtigsten Bodenbewegungen stattgefunden zu haben.

Uebersicht.

Turrilitenschichten, grünsandiger Kalk
Uebergang allmählich

Aubrigschichten, grünsandiger Kalk
Uebergang allmählich

Twirrenschichten, grünsandiger Kalk
Uebergang allmählich

Flubrigschichten, grünsandiger Kalk
Uebergang ausgeprägt

Niederischichten, kalkarmer Sandstein
Uebergang nicht ausgeprägt

Durchschlägischichten
kalkig, grünsandig, grob, mit Phosphoritknollen und Fossilien
Uebergang ausgeprägt

Brisibreccie
allmählicher Uebergang und Wechsellagerung

Brisiglaukonitsandstein
Uebergang ausgeprägt

Gamserschichten
grünsandiger Kalk bis kalkhaltiger Grünsand mit reichlicher Tonbeimischung
Uebergang ausgeprägt

Luiteremergel.

KAP. XII.

Uebergang Albien–Rotomagien–Turon.

Die Uebergänge zwischen Aubrigschichten—Turrilitenschichten—Ueberturrilitenschichten—Seewerkalk sind kontinuierlich. Die Grundmasse der verschiedenen Ablagerungen ist gleichartig beschaffen, was auch in der Aehnlichkeit der Foraminiferenfauna sich äußert. Die Unterschiede beruhen auf der Beimischung der klastischen Gemengteile.

Die Turrilitenschichten lassen sich durch ihre bedeutende Korngröße leicht von den Aubrigschichten unterscheiden; schwerer fällt es, sie von den Ueberturrilitenschichten zu trennen. Diese zeigen nach **Arn. Heim**

keine Grünsandschlieren mehr, doch eine solche Unterscheidung hat geringen Wert, denn der Grünsand verschwindet allmählich und endet in feinsten Streifen. Weiter sollen nach Heim die Ueberturrilitenschichten im Gegensatz zu dem Seewerkalk noch Glaukonitkörner enthalten. Diese Unterscheidung ist eher möglich, nur müssen wir bedenken, daß der Uebergang so regelmäßig zustande kommt, daß man von einer Grenze eigentlich nicht reden darf. Die Grünsandkörner nehmen in der Seewergrundmasse nach oben allmählich ab. Statt von Ueberturrilitenschichten könnte man mit ebensoviel Grund von „unterstem Seewerkalk" reden. Daß die genannte Unterscheidung nur geringen Wert hat, geht auch daraus hervor, daß **Blumer** im östlichen Säntisgebiet in den unteren Partien des Seewerkalkes noch eine Grünsandschicht angetroffen hat. Umgekehrt hat **E. Ganz** am Forstberg in Schwyz nachgewiesen, daß der obere Gault bis an die Lochwaldfossilschicht eher seewerkalkähnlich ist und nur geringe Grünsandspuren zeigt. Es scheinen also bedeutende primäre Unterschiede zu bestehen. Dank der gleichmäßig kalkigen Beschaffenheit der Gesteinstypen bewirkten die sekundären Umwandlungen naturgemäß nur allmähliche Uebergänge. Nur die Ueberturrilitenschicht scheint stellenweise zu fehlen. Dann liegt der Seewerkalk mit scharfer Grenze auf der Turrilitenschicht. Arn. Heim spricht sogar von einer cenomanen Denudation und berichtet von der Niederi (pag. 214): „Von besonderer Wichtigkeit ist eine Stelle, wo die Seewerbasis bei sonst normaler, horizontaler Schichtlage in eine Vertiefung von etwa 20 cm in die liegende Turrilitenschicht eingreift. Damit ist ein, wenn auch minimaler, Abtrag vor der Ablagerung festgestellt." Dann aber heißt es weiter: „Um so schwerer verständlich wird aber auf den ersten Blick die Beobachtung, daß unmittelbar neben der scharfen Diskontinuität wieder Uebergänge vom Liegenden zum Hängenden innerhalb 5—10 cm konstatiert werden können." Daraus läßt sich folgern, daß keine Denudation, sondern wieder eine der typischen sekundären Uebergangserscheinungen vorliegt. Die oberste Grenze des Gault ist demnach verschiedenartig gestaltet. Der Name „Ueberturrilitenschichten" trägt mehr Hilfscharakter und es ist damit kein stratigraphischer Horizont bestimmt. Blumer ist derselben Ansicht für das Säntisgebiet.

KAP. XIII.

Ueber den Begriff der Schichtung.

Joh. Walther hat in seiner „Lithogenesis der Gegenwart" den Begriff der Schichtung hinlänglich untersucht, ebenso **Andrée** in verschiedenen Aufsätzen der „Geologischen Rundschau". **Max Semper** aber weist in einem Artikel der gleichen Zeitschrift: „Schichtung und Bankung"

auf die herrschende Begriffsverwirrung hin und macht damit den Anfang zu einer notwendigen Begriffsklärung. In diesem Kapitel möchte ich versuchen, eine scharfe Unterscheidung durchzuführen.

Weil die Schwerkraft überall an der Erdoberfläche gleichmäßig wirkt, muß jede Ablagerung der horizontalen Lage zustreben und sich in einer Fläche ausbreiten. Das Wesen der Schichtung besteht in der flächenhaften Ausbreitung oder Ausdehnung in **einer** Richtung, nämlich der horizontalen. Insofern ist das holländische Wort „laag" (deutsch: Lage) ungleich besser, denn es sagt einfach das „Liegen" aus, die Ausbreitung an der Oberfläche. Sowohl eine Sandmasse, die vom Wasser oder vom Wind transportiert wird, als auch ein Lavastrom suchen sich in horizontaler Richtung auszubreiten; sie lagern sich und bilden eine „Lage", eine „Schicht". Das Wort Schicht ist verwandt mit schistes, scindo, und deutet auf die parallelen Absonderungen, welche die Schichten in der Richtung ihres Erstreckens zeigen.

Soll man nun mit Joh. Walther sagen: „Notwendig für den Begriff der Schichtung ist es, daß eine Absonderungsfläche zwischen den sich überlagernden Gesteinen zu beobachten ist?" Stellen wir uns den Hergang folgender Ablagerung vor: Im Meere findet eine stete Ablagerung von Kalk, untermischt mit feinsten Tonteilchen, statt. Allmählich wird die Tonzufuhr bedeutender, überwiegt mehr und mehr, bis schließlich fast nur noch Ton abgelagert wird. Der Uebergang ist also ganz langsam und ohne Trennung zustande gekommen. Die Unterseite der Ablagerung würde man eine Kalk-, die Oberseite eine Tonschicht nennen. Gemeinsam ist beiden die Erstreckung in der einen Richtung. Nehmen wir nun an, daß der Kalk vom Ton so rasch verdrängt wird, daß ein kontinuierlicher Uebergang innerhalb weniger Zentimeter zustande kommt. Dieser Uebergang gestaltet sich demnach viel deutlicher, kommt aber keinesfalls einer Trennung gleich. Nun aber folgt Tonabsatz hart auf Kalkabsatz. Die Trennung wird klar und wir können endlich von einer gesonderten Kalk- und Tonschicht reden. Endlich? Hat dann etwas Wesentliches hinsichtlich der Schichtung stattgefunden? **Nein,** wenn man nach der Lage, nach der Erstreckung beurteilt; **ja,** wenn man den Materialwechsel meint. Gewiß hat jeder Materialwechsel und jede Unterbrechung die größte Bedeutung, aber erst für nachträgliche Umwandlungen. Der Ablagerungsakt selber ist bestrebt, Trennungen aufzuheben, indem sich jedes folgende Material dem vorigen genau anschließt. Man darf vorhandene Oberflächen ja nicht zu sehr als ursprüngliche Trennungen betrachten, sondern als Stellen, wo später leicht eine Trennung zustande kommt. Wenn die Bedeutung der ehemaligen Oberflächen so sehr überschätzt wird, so geschieht dies eben deshalb, um die heute sichtbaren Trennungen zu erklären.

Man muß sich die Ablagerungen im großen und ganzen als homogene Massen denken. Die Teilchen werden regellos aneinander gelagert, und besonders die Kreidesedimente zeigen keine Spur von Richtung der einzelnen Komponenten. Gewiß gibt es viele Gesteine mit länglichen Geröllen, gestreckten oder schuppigen Mineralteilchen und länglichen Fossiltrümmern, bei denen die Lage der Komponenten die *Schichtrichtung* anzeigt. Aber gerade bei ihnen sehen wir oft äußerst kompakte Gesteine, weil mit dem Sande oder den anderen Komponenten doch eine homogene Masse entstanden ist. Nicht die Oberfläche, nicht die Abgrenzung ist wesentlich, sondern die Erstreckung, die Flächenlage. Andrée hat im Gegensatz zu Walther das Vorhandensein von Schichtflächen nicht für wesentlich gehalten, obwohl auch er deren Bedeutung stark hervorhebt, indem er schreibt: „Schichtung ist die Eigenschaft der Sedimente und Sedimentgesteine, aus einzelnen mehr oder weniger dicken, sowie seitlich mehr oder weniger weit sich erstreckenden Lagen zu bestehen, welche, falls sie nicht auch stoffliche Verschiedenheiten zeigen, so doch wenigstens eine leichte Trennbarkeit nach der Schichtfläche erkennen lassen. Eine leichte Trennbarkeit nach den Schichtflächen ist aber nicht unbedingte Notwendigkeit für den Begriff der Schichtung. Dieselbe kann vielmehr auch durch eine veränderte Widerstandsfähigkeit gegen Auflösung, verschiedene Härte oder Färbung, durch eingelagerte Gerölle, Fossilien oder Konkretionen nur angedeutet sein.“ Eben in diesen von Andrée erwähnten Fällen wird bei einem sonst massigen Gestein die Erstreckung in einer Richtung hervorgehoben, ohne daß der massige Charakter von dieser Erstreckung im mindesten aufgehoben wird.

Die Antwort auf die Frage, ob der Schichtwechsel etwas Wesentliches mit sich bringe, lautet: ja und nein; nein, wenn es die Lage ist, die in Betracht gezogen wird; ja, wenn von der Gesteinsänderung die Rede ist. Wann aber kommt dieser Wechsel des Materials zum Ausdruck? Bei allen Vorgängen nämlich, die das Sediment **nach seiner Ablagerung** betreffen, also bei der Entstehung und Diagenese des Gesteins. Diese Vorgänge betreffen Massen, die in einer Richtung, in der vertikalen, unendlich rascher wechseln, als in der horizontalen, in der sie sich erstrecken. Diese Vorgänge ändern sich mit jedem Gesteinstypus, und für sie sind Schichtwechsel und Gesteinsübergang von wesentlicher Bedeutung. Außerdem beobachten wir die Gesteine stets an der Außenseite, wo durch die Verwitterung die geringsten Aenderungen ungemein rasch und scharf ausgeprägt werden. Es ist deshalb verständlich, daß man kleine und kleinste Aenderungen als unerläßliche Bedingung für das Zustandekommen der Schichtfugen ansieht. So sagt Andrée: „Schichtfugen beruhen entweder — aber nur in seltenen Fällen — auf

einem Unterbruch des Absatzes und mehr oder minder starker Verhärtung vor Ablagerung der jüngeren Schicht, in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle aber entstehen die Schichtfugen durch die Einschaltung weicher, leicht herauswitternder, dünner Zwischenmittel abwechselnder Beschaffenheit, etwa dünner Tonblätter zwischen Kalkgesteinen". Und auch Joh. Walther will die Bildung der Schichtfugen mit feinster Zwischenschicht oder auch nur mit einem feinen „Besteg" erklären.

Nun liegt aber in vielen Fällen ein solcher primärer Anlaß zur Fugenbildung garnicht vor, und in anderen Fällen hat die primäre Aenderung garnicht zur Bildung einer Schichtfuge geführt. So beschreibt **Wähner** Fälle, wo die Grenze zweier Gesteine einer langen und bedeutenden Unterbrechung des Absatzes entspricht, diese Grenze aber **nicht** als Schichtfuge ausgebildet worden ist, **obwohl** beide Gesteine bankig sind. Hier ist also die Grenze zwischen zwei bankigen Gesteinen fugenlos und liegt innerhalb einer einzelnen Bank. In diesem Sinne sind die Beobachtungen von Wähner zu verstehen, auf welche sich Andrée in seinem Aufsatz: „Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung" bezieht. Wähner will beweisen, daß nicht notwendigerweise jede Schichtfuge die Folge längerer Unterbrechung des Absatzes war, und führt dazu Beispiele des Gegenteils an, wo längere Unterbrechungen keine Schichtfugen erzeugt haben. Insofern sind diese Ausführungen sehr wichtig. Andrée dagegen glaubt, Wähner habe auf Grund des Fehlens der Schichtfugen die unterbrochene Schichtung verneint und sagt hierauf: „Wenn nun allerdings Wähner diese Fälle gegen das Zurechtbestehen der Unterbrechungstheorie ins Feld führt, so vermögen wir ihm hierin nicht zu folgen, und gerade der zuletzt erwähnte Fall ist eine typische „unterbrochene" Schichtung, wenn auch keine Schichtfuge in Erscheinung tritt. Nur die Ueberschätzung des Vorhandenseins solcher Schichtfugen als nötig für das Wesen der Schichtung, die auch die Wähner'sche Darstellung kennzeichnet, erklärt diesen Widerspruch in der Wähner'schen Schlußfolgerung, und im Gegensatz hierzu muß ich um so nachdrücklicher die Unwesentlichkeit des Vorhandenseins oder Fehlens von Schichtfugen feststellen, welche ja durch die Herauswitterung dünner Zwischenmittel entstehen und als solche gewöhnlich nur eine ganz kurze Strecke bergseits eindringen." Hiermit aber zeigt Andrée klar, daß er für die Entstehung der Schichtfugen im Grunde doch an Unterbrechung festhält und nicht ganz dem Sinn der Ausführungen Wähners folgte, denn seine dünnen Zwischenmittel sind schließlich nichts anderes als Unterbrechungen.

Hier kommen nun die erwähnten Ausführungen von Semper uns zu Hilfe, der sagt, daß in dem Wort „Schichtung" verschiedenes zusammengefaßt ist: „Im engeren, sozusagen petrographischen Sinn

bezeichnet es „eine innere Textur, einen lagenweisen Aufbau der Gesteinsmasse“, für welche das Vorhandensein oder Fehlen von Schichtfugen unwesentlich ist. Weiter kennen wir: „Schichtung im Sinne des gewöhnlichen Sprachgebrauches, für die das Vorhandensein von Schichtfugen geradezu das entschiedene Merkmal ist — eine alltägliche Erscheinung, die bei jeder geologischen Untersuchung ungezählte Male beobachtet und verwertet wird.“

Semper macht den Vorschlag von „Bankung“ und „Bankungsfugen“, und nur im Sinne einer petrographischen Textur von Schichtung zu reden. Das ist ein praktischer Unterschied, nur deutet das Wort „Schicht“ gerade die Absonderung an und paßt also besser als Bank.

Semper bezweifelt weiter, jede Schichtfuge durch ein Zwischenmittel erklären zu können, und weist seinerseits auf Gesteinswechsel hin (besonders im Buntsandstein), wo keine Fugen entstanden sind. Er sagt: „Man wird sich mit dem Gedanken vertraut machen müssen, daß einerseits Sedimentwechsel ohne Unterbrechung und anderseits Unterbrechung des Niederschlages ohne Sedimentänderung Ebenen schaffen, in denen Bankungsfugen entstehen können, aber daß sie weder an jeder solchen Stelle, noch nur an solchen Stellen wirklich in Erscheinung treten. Dann muß also irgend etwas anderes auch die Entstehungsursache der Gesteinsbankung sein, etwas zunächst völlig unbekanntes und nicht erkennbares, zu dem die Beschaffenheit der Sedimentmasse erst als mitwirkend hinzutritt“. Dann bespricht Semper andre Möglichkeiten und sagt u. a., daß man vielleicht an Druckwirkung denken könnte, wobei: „in der Sendimentmasse durch die Last des Ueberlagernden parallele Spalten aufgerissen würden, deren Lage durch die Flächen geringsten Widerstandes und anderweitige Beschaffenheit bestimmt würde“.

Hier möge die weitere Betrachtung anschließen. Während die Ablagerung nach Ausfüllung und Zusammensetzung strebt, sind die Vorgänge nach der Ablagerung bestrebt, zu trennen und zu scheiden. Weil nun die Ablagerungen sich in Flächen erstrecken, finden auch die nachträglichen Aenderungen im Sinne der Ausdehnung statt. Neue Vorgänge werden in der Richtung der primären Lage geleitet und die Schichtung zwingt das, was geschieht, „in Schichten“ zu geschehen.

Da ist erstens die Gesteinswerdung der Sedimente, die sich besonders unter Mithilfe des Wassers vollzieht. Solche Umwandlungen finden in horizontalem Sinne gleichmäßig statt und wechseln in vertikaler Richtung. Vielleicht erzeugen sie schon deshalb Schichtfugen, weil das Material mit den Ablagerungen ändert. Wenn einzelne Schichten verfestigt werden, dann kann leicht eine Abtrennung von einem angrenzenden, andersartigen Material zustandekommen Zu diesen Umwandlungen gehört weiter die Auflösung und Umlagerung gewisser Schichten, wobei die Grenzen

scharf ausgeprägt werden (Pseudoschichten in Limburg, klaffende Grenzen der mittleren Kreide). Zu ihnen gehört in letzter Linie die Verwitterung, welche die feinsten Unterschiede in der Gesteinsmasse oft deutlich zur Geltung bringt und damit eine der Hauptursachen der Schichtungs- und Bankungserscheinungen ist.

Aber bei der Gesteinsumwandlung sind es immer primäre Unterschiede, welche die Schichtfugen hervorrufen, und nun sollten gerade solche Fälle erklärt werden, wo eine primäre Aenderung nicht bemerkbar ist. Wenn wir uns fragen, welchen Wirkungen, außer den diagenetischen, das Gestein überdies noch ausgesetzt ist, und welche zur Schichtbildung führen könnten, so erscheinen als solche: Spannungen und Druck.

Als eine Möglichkeit würde an Kontraktionsspannungen zu denken sein, wie sie bei Volumenänderung infolge wechselnder Feuchtigkeit oder aus anderer Ursache entstehen können. Es wäre nicht undenkbar, daß bei solchen Vorgängen Trennung in der Schichtrichtung zustande kommen könnte. In erster Linie aber sind es dieselben Spannungen in der Erdkruste, welche auch zur Schichtbewegung führen, die für die Bildung der Schichtfugen von überwiegender Bedeutung gewesen sein müssen. Die Auslösung derartiger Spannungen in bedeutendem Umfange ist nur in Schichtgesteinen möglich, weil dort ein großer Gegensatz in der Ausdehnung gegeben ist, während bei den Massengesteinen die Auslösung nur lokale Bedeutung gewinnen kann. In der Gegensätzlichkeit zwischen der großen horizontalen und geringen vertikalen Ausdehnung, in der horizontalen Gleichmäßigkeit und im vertikalen Wechsel ist die Möglichkeit größerer Bewegungen gegeben. **Alb. Heim** behandelt diese Dinge ausführlich in seinem „Mechanismus der Gebirgsbildung“ und in der „Geologie der Schweiz“ heißt es: „Die so weit verbreitete Schichtung in der Erdrinde ist die Vorbedingung für die Entstehung der Faltengebirge“.

Aber umgekehrt ist die Schichtung wieder gewissermaßen von der Gebirgsbildung abhängig, indem diese die Richtung der Schichten benützt und ausprägt. In dem Sinne ist es nicht ganz richtig, wenn Alb. Heim an der gleichen Stelle sagt: „Die Schichtfugen als schon vorhandene, innere Trennungen übernehmen den größten Teil der notwendigen inneren Verschiebungen, wie beim Biegen eines großen Papierstoßes Blatt an Blatt sich verschiebt“. Zwar ist das Bild des Geschehens vollkommen richtig, aber die Schichtfugen waren nicht vorhanden, sondern traten erst mit der Gesteinsbewegung in Erscheinung.

Natürlich wurden dabei soviel wie möglich die primären Unterbrechungen und der Gesteinswechsel benützt. Umgekehrt aber wurden andere primäre Gesteinsunterschiede nicht benützt, dagegen in homogenen Gesteinen Trennungen ausgebildet. Diese Trennungen wurden von den herrschenden Spannungen erzeugt, lange bevor eine allgemeine Plastizität

erreicht worden war. Sie erstreckten sich vielfach im Sinne der ursprünglichen Schichtlage. Weil die meisten Gebiete der Erdrinde irgend eine Bewegung oder Spannung erfahren haben, so werden fast überall solche Schichtfugen auftreten können. Sie sind dann eine stehende Formel für die Gesteinsart und ihre Spannung.

In dem fast ungestörten limburgischen Kreidegebiet fehlen Schichtfugen im allgemeinen. In der Maastrichterkreide ist die Schichtrichtung durch die Fossiltrümmer fast immer angedeutet, aber Schichttrennung läßt sich fast nie beobachten. Erst die Kreide der Decken zeigt eine Gesteinstrennung von größter Regelmäßigkeit. So gelangt man zum Schluß, daß nicht nur die Schichtung — in sekundärem Sinne als Trennung — Gesteinsbewegung ermöglicht hat, sondern daß die Schichtung auch von der Gesteinsbewegung benützt und ausgeprägt und sogar besonders geschaffen worden ist dort, wo die Gesteinsbewegung es forderte. Damit ist nicht gesagt, daß überall neue Namen angewendet werden sollen. Das Wort „Bankung" ist nicht gerade geeignet für diese Erscheinung, weil „Schichtung" bestimmt die Trennung angibt, und „Bankung" auch nicht die linsigen, knolligen Bildungen einschließt. Außerdem lassen sich die primären und sekundären Schichtungsmerkmale schwierig scheiden, weil sie naturgemäß zusammengehören. Das übliche und passende Wort „Schichtung" kann schon deshalb beibehalten werden, weil solche allgemeine Benennungen sich doch nicht wegschaffen lassen.

Wenn wir es aber beibehalten, so dürfen wir nicht vergessen, daß „Schichtung" im primären Sinne die Ablagerung und ihre Richtung, in sekundärem Sinne die Trennung und die getrennten Lagen bezeichnet. Immer sekundär sind die Schichtfugen, auch wenn sie ihre Entstehung dem primären Wechsel der Ablagerung verdanken.

Haben Auflösung und Druck ganz neue Flächen im homogenen Gestein geschaffen, so kann man diese: **Lösungs-, Spalt- oder Gleitflächen in der Schichtrichtung nennen.**

KAP. XIV.

Die Diagenese der Kreidesedimente.

Heute finden wir die Kreideablagerung im helvetischen Deckengebiet in mächtigen Falten vor. Diese Wölbung war nur möglich infolge der Schichtung. Sobald ein gewisser Grad der Biegung erreicht war, konnten sich keine neuen Schichtfugen mehr bilden, denn die späteren Trennungen würden sich nicht in der Schichtrichtung äußern, sondern quer dazu. Sie würden als Clivage die Schichtrichtung schneiden. Mit

andern Worten: **die einsetzende Spannung, der Bewegungsanfang** ruft die Trennung der Schichten hervor. Nachher werden diese Anfänge verschärft und die Trennungen werden der Bewegung dienstbar gemacht. Sind aber größere Falten erzeugt worden, so verliert die Schichtung ihre Bedeutung für die Bewegung, denn jetzt verhält sich das gefaltete Gestein als eine homogene Masse. Dann erstarrt die Bewegung und die Spannung vermag auf diese Weise keine Auslösung mehr hervorzurufen.

Sowohl durch die Ueberlagerung tertiärer Sedimentmassen, als auch unter dem Einfluß dieser gebirgsbildenden Kräfte haben die alpinen Kreidegesteine ihre jetzige Ausbildung erlangt, eine Ausbildung, welche sich weit durchgreifender gestaltet hat als diese der Kreidegesteine West-Europas. Die Stufe des ursprünglichen Sedimentes liegt hier wie dort weit zurück, nur ist die Umwandlung in den Decken in dem Sinne weiter fortgeschritten, daß der Faktor des Druckes hinzukam. Wenn wir also viel härtere Kalke finden, so können wir das der Sedimentüberlagerung und der Gebirgsbildung zuschreiben, denn die Art und Anlage des Sedimentes war zweifellos dieselbe. Der Unterschied zwischen Gulpener-Kreide und Seewerkalk oder zwischen Schrattenkalk und Maastrichterkreide ist gar nicht groß und besteht hauptsächlich darin, daß die limburgischen Gesteine weniger schwer und viel poröser sind.

Die Umwandlung bestand also darin, daß erstens die Gesteinsmasse verdichtet wurde, zweitens Schichttrennungen eingeleitet und durchgeführt wurden. Wo der massigen Kreideablagerung ein häufiger primärer Gesteinswechsel fehlte und eine Schichttrennung meistens nicht vorgebildet war, da wurden durch Lösung und Druck Trennungsflächen erzeugt, in denen durch Umlagerung der Komponenten und durch Gleitbewegungen eine Verschiebung stattfinden konnte.

Wenn hier von häufigem primären Gesteinsunterschied gar nicht die Rede ist, so befindet sich damit diese Arbeit in direktem Gegensatz zu **Alb. Heim,** der die tonigen Zwischenschichten als primären Gesteinswechsel ansieht, und gerade über deren Regelmäßigkeit Betrachtungen anstellt in seinen schon erwähnten „Gedanken über Schichtung".

Alb. Heim sucht die Erklärung dieser regelmäßigen Wechsellagerung in einer Periodizität der Niederschläge. Wo Periodizität mechanischer Niederschläge im offenen Meer kaum zu erwarten ist, da ist für Heim die einzige Möglichkeit: Periodizität des Kalkniederschlages bei Konstanz des Tonniederschlages, aber nicht ein organischer Kalkniederschlag, sondern ein chemischer mit oder ohne Hilfe organischer Verwesungsprodukte. Auch **Arn. Heim** will einen Teil der Kreideablagerungen als chemischen Niederschlag betrachten. Hierin gipfelt also die Frage. Beide stellen sich dabei im Gegensatz zu **Murray, Renard, Collet** und andern Forschern der Tiefseeablagerungen. Aber auch **Cayeux** kommt rein durch die Betrach-

tung der Kreidegesteine zum gleichen Resultat wie die Genannten. Die Annahme eines chemischen Kalkniederschlages scheint gerade auf einer völligen Unterschätzung der Umwandlungen zu beruhen. Nimmt man aber keinen chemischen Kalkniederschlag an, so verliert die vorige Betrachtung ihre Bedeutung. So wertvoll und anregend Heims Erklärung auch ist, so bedeutet sie doch kein Argument gegen die organogene Erklärung der Kreide.

Die Geschichte des Sedimentes lautet kurz gefaßt folgendermaßen: Hat die Ablagerung stattgefunden, dann fängt die Aenderung an unter Einfluß des ablagernden Mediums. Diese Aenderung schreitet weiter bei der Hebung des Sedimentes und seiner Trockenlegung, bei der Gesteinswerdung und allen Vorgängen, die das Gestein nachher treffen. Sämtliche Vorgänge können wir als **Diagenese** bezeichnen. An der Oberfläche wird die Diagenese unter besonderem Einfluß der atmosphärischen Verhältnisse stehen und wir werden sie **Verwitterung** nennen. Wird aber das Gestein von gebirgsbildenden Vorgängen betroffen, so wird sein Geschick von diesen bestimmt, und seine Geschichte wird eine solche der **Gesteinsmetamorphose.** Tatsächlich sind wir hier an ein Grenzgebiet gelangt, wo die Diagenese direkt zur Gesteinsmetamorphose hinüberführt. Verschiedene Gesteine weisen nach den kristallinen Schiefern hin und es ist von besonderer Bedeutung, daß in vielen Fällen die Komponenten bei der Diagenese schon in einer gewissen Richtung gelagert worden sind. Wo aber diese Vorgänge hauptsächlich ein Fortschaffen der löslichen und eine Konzentration der unlöslichen Komponenten bei allgemeiner Gesteinsverdichtung bedeuten, da wird man sie noch nicht mit dem Namen Gesteinsmetamorphose belegen. Hierfür sind gewisse gegenseitige Veränderungen und Verwachsungen der Komponenten notwendig, was zwar eingeleitet, aber nicht durchgeführt ist. Das Gestein läßt sich noch vollständig als Sedimentäres erkennen und man wird nicht geneigt sein, es den metamorphen Gesteinen einzureihen.

Sind wir dann im Bereich der Diagenese? Auch nicht, wenn wir strenge festhalten an der Definition von Joh. Walther, welcher der Urheber des Begriffs ist und die Diagenese in seiner „Lithogenesis der Gegenwart" folgendermaßen bestimmt: „Alle diejenigen physikalischen und chemischen Veränderungen, welche das Gestein nach seiner Ablagerung, ohne das Hinzutreten von Gebirgsdruck und Vulkanwärme erleidet."

Andrée faßt die Bestimmung noch enger, indem er zufällige Aenderungen von außenher ausschließen und mehr die vorbestimmten Aenderungen hervorheben will, d. h. solche, die mit einer gewissen Notwendigkeit aus der Art der Ablagerung hervorgehen müssen. Er sagt in der „Geologischen Rundschau", in der er über „Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehungen zur Sedimentbildung und Sedimentpetrographie" redet,

folgendes: „Ich ziehe daher vor, die Diagenese der Sedimente auf diejenigen molekularen und chemischen Umlagerungen zu beschränken, welche das sedimentierte Material unter dem Einflusse des Mediums, in welchem es abgelagert wurde, erleidet, und welchen es eventuell auch noch nach Heraushebung aus diesem Medium durch die gewöhnliche Bergfeuchtigkeit oder durch zirkulierende vadöse Wässer unterlegen ist, soweit dieselben keine fremden (von außerhalb des Sedimentes stammenden) Stoffe gelöst enthalten".

Diese Beschränkung scheint mir von geringem Vorteil gegenüber der Schwierigkeit, daß zirkulierendes Wasser und Gebirgsfeuchtigkeit wohl immer fremde Stoffe enthalten, seien es Gase, seien es Minerallösungen, und sich nie auf eine Schicht beschränken. Halten wir uns lieber an die Definition von Walther, die man weitsinniger auffassen kann. Joh. Walther hat gar nicht mit dem Fall der reduzierten Kreide gerechnet und seine Definition hat klar ersichtlich nur eine große, praktische Trennung durchführen wollen, indem er die Diagenese gegen die Kontaktmetamorphose einerseits und die Dynamometamorphose andererseits abgegrenzt hat. Wo nun die Vorgänge in den Kreideschichten nicht der Metamorphose zugerechnet werden dürfen, weil sie noch nicht deren typische Merkmale tragen, da wäre es wohl ganz im Sinne Walthers, sie noch unter den Begriff der Diagenese zu fassen. Wir brauchen die Definition dann nur so zu formulieren: „diejenigen physikalischen und chemischen Veränderungen, welche ein Gestein nach seiner Ablagerung ohne Kontakt- oder Dynamometamorphose erleidet"

Zum Schluß noch die Frage, was mit dem gelösten Kalk geschah.

1. Wie besonders im folgenden Kapitel erläutert werden soll, findet eine direkte Umlagerung der Kalksubstanz statt, die zu einer Verdichtung des Gesteins, d. h. zu einer Verringerung des Porenvolumens führt. Ein Teil der Auflösung ist Umlagerung.
2. Der Kalk wird vielfach wieder in den Lösungsflächen ausgeschieden.
3. Calcit wird in vielen Spalten gebildet, ein Vorgang, der teilweise mit der Gesteinsbewegung zusammenhängt. Die Masse dieser Calcitflächen und Adern ist nicht unbeträchtlich.
4. Innerhalb der Ablagerungen gibt es oft ausgedehnte, calcitische Massen, so z. B. bei Amden im Brisisandstein. Auch Arn. Heim macht darauf aufmerksam, daß viele massige Kalke ganz von Adern durchsetzt sind. Oft dürften solche Massen mit Dislokationen in Verbindung stehen. Arn. Heim erwähnt solche Vorkommnisse aus dem Hauterivien-Kieselkalk vom Gulmen und vom Mattstock.
5. Die Hauptmasse des gelösten Kalkes jedoch wird entlang von Spalten und tektonischen Linien einfach fortgeführt.

KAP. XV.

Die Diagenese im mikroskopischen Bild.

Wenn man sich dem mikroskopischen Studium der Kreidesedimente zuwendet, so findet man einen eminenten und zuverlässigen Führer in **L. Cayeux.** Die „Contributions à l'étude micrographique des terrains sédimentaires" bringen in glänzender Weise seine Untersuchungen der Kreide des Pariser Beckens zur Darstellung. Bei der alpinen Kreide kann man seine Beobachtungen voll verwerten und hat nur einer bestimmten Abänderung der Erscheinungen infolge des Druckes Rechnung zu tragen.

In diesem Kapitel soll das allgemeine Bild beschrieben, doch eine gesonderte Behandlung der Gesteinsarten bei Seite gelassen werden. Eine systematische Untersuchung würde weit über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Ueberdies ist die Beschreibung des jetzigen Zustandes durchaus sachlich von **Arn. Heim** ausgeführt worden, nur daß er zwar gewisse Aenderungen gesehen, sie aber nie zusammengefaßt hat, so daß ihm, was Endstadium eines langen Werdeganges ist, als primär oder kurz nach der Ablagerung entstanden erscheint.

Wir können im mikroskopischen Gesteinsbild eine Unterscheidung durchführen, in dem wir die größeren Partikel einer *Grundmasse* gegenüberstellen, die durch ihre Feinheit und Dichte sich nur schwer unterscheiden läßt. Die größeren Gemengteile sind Quarz- und Glaukonitkörner sowie Calcitpartikel, wozu untergeordnet sich noch andere Mineralien gesellen. Die Grundmasse stellt ein Gemisch dar, hauptsächlich von Calcit und Ton, aber auch von kleinsten Teilchen der genannten Mineralien und anderer Substanzen. Cayeux sagt: „Le ciment est la somme des éléments minéraux et organiques de dimensions tellement exigues, qu'il est impossible d'en préciser la forme et la nature par l'examen des sections minces aux faibles grossissements."

Wir können uns ganz an die Beschreibung von Cayeux halten, der diese Grundmasse mit systematischer Sorgfalt beobachtet hat. Nach ihm verdankt sie ihre Entstehung drei Möglichkeiten, erstens einer mechanischen, zweitens einer biologischen und drittens einer chemischen.

1. minéraux de très faible volume: argile, produits ultimes de la trituration des organismes.
2. menues plaquettes d'Echinodermes, organismes indéterminés, Coccolithes, Rhabdolithes, etc.

3 a. éléments d'origine mixte.

Leur point de départ est un organisme, mais les agents chimiques les ont modifiés au point de les rendre souvent méconnaissables. Ce sont par exemple de menus débris de Bryo-

zoaires, des plaquettes microscopiques d'Echinodermes, des spicules de Calcisponges, des morceaux de test de Foraminifères, etc. corrodés, profondément rongés, réduits à l'état de squelettes spongieux et informes.

Tous les organismes à test calcaire, incorporés dans la craie participent à la composition de cette portion du ciment.

3b. Sous l'influence de la composition de la matière organique, les élément du squelette calcaire des Invertébrés peuvent se désagreger et conserver ou non des formes qui permettent de remonter à leur origine. Les Mollusques, Brachiopodes, Echinodermes ont fourni au cimet de la craie des particules qui ont conservé des caractères morphologiques permettant de déterminer la groupe dont elles procèdent.

3c. Le ciment est redevable à l'instabilité de l'aragonite d'un troisième groupe d'éléments. Un certain nombre d'organismes de la mer crétacée étaient pourvus de coquilles constituées par l'aragonite: ce sont les Céphalopodes, beaucoup de Gastéropodes et de Mollusques, et les Anthozoaires. D'autres étaient formés d'un mélange de calcite et d'aragonite.

3d. Une dissolution partielle et une destruction intégrale des organismes a pour résultat de mettre en liberté une portion variable, mais toujours notable, de carbonate de chaux.

Wie wir sehen, gestaltet sich das Bild der Entstehung äußerst abwechslungsreich. An erster Stelle steht die mechanische Zufuhr feinster Mineralteilchen und Organismen. Dazu kommt eine Zertrümmerung und Zerreibung der Organismen infolge der dynamischen Kraft des Wassers, wie Cayeux ausführlich dargetan hat. Stellenweise kann ein rascher Absatz die Schalen schützen, teilweise findet aber eine Zertrümmerung statt, ist doch schon die Strömung imstande, Mineralkörner mitzuführen. Der Grundmasse werden weiter kleinste Schalenteilchen und die Zerfallsprodukte der Organismen zugefügt. Besonders die Instabilität der aus Aragonit aufgebauten Hartteile gibt zu Aenderungen Anlaß. Schließlich gesellt sich dazu die allgemeine Umwandlung, wie sie im Laufe der Zeit besonders infolge der Tätigkeit des Wassers zustande kommt. So sind die Aenderungen der Foraminiferen von Cayeux eingehend untersucht und beschrieben worden. Er zeigt, wie diese, ohne eine Spur zurückzulassen, verschwinden können. Das eine Gestein kann reich, das andere arm an diesen Organismen sein, ohne daß die Ursprünglichkeit des Zustandes gewährleistet ist. Eine rein oder fast rein kalkige Grundmasse ist der Erhaltung eher ungünstig. Erst bei einer gewissen mergeligen Beschaffenheit oder dann in der Kieselsubstanz können die Schalen erhalten bleiben.

Wenn Cayeux in der französischen Kreide sehr viele Lücken kennt und leere Stellen, deren Form anzeigt, daß der Kalk aufgelöst und verschwunden ist, so ist das nie der Fall bei der alpinen Kreide. Hier ist die ganze Masse in höchstem Grade zusammengedrängt und verdichtet. Die Auflösungs- oder Tonstreifen stellen das Maximum der Verdichtung dar. Sie werden von den unlöslichen Bestandteilen der Grundmasse und von den klastischen Gemengteilen gebildet. Ton, Eisenverbindungen und eine gewisse Menge organischer Substanzen entstammen der Grundmasse.

Die Streifen können harte Linien zeigen, sind aber oft erst angedeutet. Im allgemeinen erscheinen sie nicht so scharf von der Grundmasse getrennt, wie die Figuren es darstellen müssen. Die Linien können frei in der Grundmasse liegen, doch meistens suchen sie geradezu die Körner, und auch die Anfangsstadien erscheinen in deren Nähe. Es sieht aus, als hätten die größeren Gemengteile das Wasser eher angezogen. Die Streifen winden sich manchmal scharf eckig und zackig zwischen den Körnern hindurch, können sich teilen, vereinigen sich wieder oder verschwinden spurlos in der Grundmasse. Entgegengesetzte Richtungen sind nicht selten im gleichen Bild wahrzunehmen. Sichtbar sind nur die extremen Bahnen der Lösung. Doch auch dort, wo keine Spur solcher Bahnen erkennbar ist, muß das Wasser eingedrungen sein.

Die Grundmasse läßt oft wenig Bestimmtes ersehen und es ist gewiß schwer, sie als differenziert und als verschiedener Herkunft zu betrachten. Dazu braucht es langwierige Zusammenstellungen und immer wiederholte Vergleiche, wie Cayeux sie gemacht hat. Es ist also verständlich, daß gewisse Forscher immer wieder geneigt sind, die Masse als einen chemischen Niederschlag zu betrachten. Mir scheint das unrichtig und ich glaube, man kann sich durchaus Cayeux anschließen, wenn er sagt: „La présence de nombreuses particules inorganiques dans la craie signifie que ce sédiment que l'on est tenté de prendre pour type de dépôt ayant conservé ses caractères originels est déjà bien loin de son état initial."

Bischof hat schon nachdrücklich darauf hingewiesen, daß zur Fällung des Kalkes im Meere die notwendigen Bedingungen fehlen. Man kennt vereinzelte Fälle, doch immer unter ganz besonderen Umständen, lokal und in unmittelbarer Küstennähe. **Murray, Renard, Collet** und andere Tiefseeforscher bestreiten durchweg einen chemischen Niederschlag für die kalkigen Sedimente. In der Schweiz ist es besonders Collet, der ihre organogene Bildung befürwortet. Wenn Arn. Heim die Untersuchungen von **Drews** und **Vaughan** als Beweis anführt, so gelten sie doch sicher nicht für die Grundmasse dieser Kalke, denn sie suchen gewisse oolithische Kalkbildungen zu erklären.

Nach dieser kurzen Betrachtung der Grundmasse wenden wir uns den Gemengteilen zu. Fig. 23 zeigt eine Partie der Aubrigschichten. Punktiert sind die Glaukonitkörner, während der Quarz hell gelassen ist. Die Quarzkörner sind eckig, aber außerdem angefressen, d. h.: bei stärkster Vergrößerung zeigen sie überall kleine Zacken und Kerbchen, was als eine typische Lösungserscheinung zu betrachten ist. Nicht angefressene Körner sind wohl auch zackig, aber zeigen nie diese bis ins kleinste gehenden Zacken. Noch eigenartiger verhält sich der Quarz in Fig. 24.

Sie zeigt eine Partie des Brisiglaukonitsandsteins mit ausschließlich Quarzkörnern. Diese haben sich enge aneinandergelegt und sich in ihren

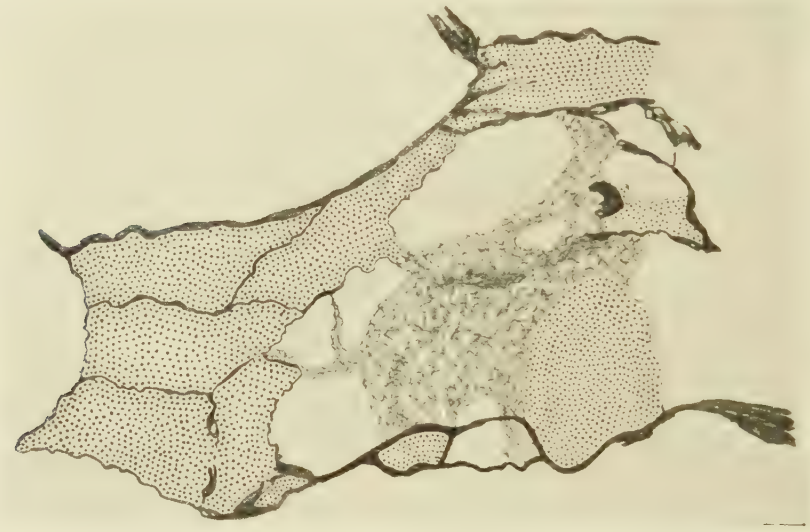


Fig. 23.

Partie der Aubrigschichten mit zackig angefressenen Quarzkörnern (hell) und deformierten Glaukonitkörnern (punktiert). Grundmasse mit Tonstreifen als Lösungsrückstand. Vergr. 1:213.

Formen einander angeschlossen. Daß wir keine ursprünglichen Aggregate vor uns haben, zeigt die teilweise erhaltene Grundmasse und die scharf trennende Linie des Lösungsrückstandes. Weiter ist die Anschmiegung und Formanpassung derart, daß sie garnicht ursprünglich dagewesen sein kann. Eine konkave Seite des einen Korns entspricht einer konvexen des andern, und umgekehrt. Fig. 24 zeigt dasselbe auch für Glaukonitkörner der Turrilitenschichten.

Diese Erscheinung ist wieder typisch für eine Umwandlung infolge Lösung unter Druck. Wir kennen eine Parallelerscheinung dazu, über deren Entstehung man einig ist. Es sind die Eindrücke in den löslichen Nagelfluhgeröllen. Die Tatsache, daß verschiedene Gerölle von benachbarten Geröllen einen Eindruck erhalten haben, ist von mehreren

Forschern untersucht und noch einmal ausführlich dargestellt worden von **Alb. Heim** in der „Geologie der Schweiz“ (Bd. I, pag. 58—61).

Gerölle mit stärkerer Krümmung dringen in solche mit geringerer Krümmung ein. Vorbedingung dazu ist nur, daß das geringer gekrümmte löslich ist. Oft sind die Berührungsstellen stylolithisch verzahnt, und es kann auch ein tonsandiges bis eisenschüssiges Häutchen entstehen. Alb. Heim sagt: „Die guten tiefen Eindrücke gehören stets Nagelfluhschichten an, bei welchen die Zwischenräume der Gerölle anfangs leer waren und später erst mit Sekretionen gefüllt worden sind“, und weiter: „wenn die Last der überlagernden Massen auf eine Schicht von löslichen Geröllen ohne Füllung der Zwischenräume drückt, so konzentriert sie sich auf die wenigen Berührungspunkte.“

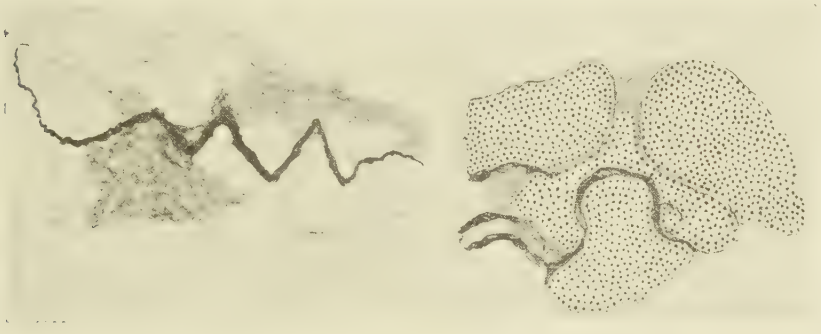


Fig. 24.

Anlagerung von Quarzkörnern der Brisischichten durch Auflösung und Druck, von Glaukonitkörnern der Turrilitenschichten durch Druck und Umlagerung. Vergr. 1:70.
Grau: Grundmasse mit dunkeln Tonstreifen, von der Auflösung der unreinen Kalkgrundmasse herstammend. Hell: Quarz. Punktiert: Glaukonit.

Aber, auch wenn die Gerölle in Sand gebettet sind, so drückt jedes Sandkorn seine Form in die Kalkgerölle ein. Sehr schön läßt sich das in dem miocänen Sand von Benken am Kohlfirst beobachten. Jedes Kalkgerölle ist von Sandkörnern bedeckt. Ist der Sand verschwunden, so zeigt die Oberfläche viele kleine Aushöhlungen. Ob am Berührungspunkt das schärfere Geröll sein Nachbargerölle desaggrediert und in diesen vom Druckpunkt aus feine Rißchen entstehen, wie Alb. Heim sich denkt, ist eine Frage von geringerer Wichtigkeit. Die Hauptsache ist die Massenwirkung, Massenannäherung und die damit verbundene Reaktionsvergrößerung an den Berührungspunkten.

Auch die Kreide wurde aus lockeren Teilchen aufgebaut, auch diese Teilchen berührten einander und ließen Zwischenräume offen. Die limburgischen Kreidegesteine sind im allgemeinen viel leichter als die alpinen, weil sie ein großes Porenvolumen besitzen. Anfänglich muß auch die Kreide der Alpen solcherweise beschaffen und gebaut gewesen

sein. Infolge Druckes setzte an den unendlich vielen Berührungspunkten die Lösung ein. Dieser Vorgang, der immer mehr fortschritt, hat neben einer gewissen Umlagerung des Materials eine immer größere Verdichtung des Gesteins bewirkt, immer mehr das Porenvolumen verringert und einen immer dichteren Kalk erzeugt. Im Unterschied zu den Nagelfluhgeröllen ist die Berührung hier außerordentlich viel inniger. Wenn wir sehen, wie sehr sogar der schwerlösliche Quarz in Mitleidenschaft gezogen worden ist, wie die einzelnen Körner dieser Substanz sich einander anschmiegen, dann deutet das auf eine sehr starke Umwandlung hin. Demnach wird man eher geneigt sein, dem leichter löslichen Kalk eine noch viel bedeutendere Aenderung zuzuschreiben, eine Aenderung, wodurch das ursprüngliche Sediment vielleicht auf ein Drittel seiner Anfangsmächtigkeit reduziert worden ist. Eine bestimmte Zahl ist schwer anzugeben. Aber gewiß ist, daß die Sedimente nach ihrer Ablagerung eine großartige Reduktion und Konzentration durchgemacht haben.

Wenn die Fig. 24 zwischen den einzelnen Körnern scharfe Grenzen zeigt, so war das nur zeichnerisch notwendig. Soweit keine Schmutzstreifen oder Kalkreste die Körner trennen, sind ihre Grenzen in gewöhnlichem Licht oft unsichtbar und erscheinen erst in polarisiertem Licht infolge verschiedener optischer Orientierung der Einzelkörner. Besonders die Körner der ziemlich reinen Sandsteine bilden oft mosaikartige Felder und erinnern dadurch schon stark an metamorphe Gesteine, besonders an Quarzite. Derartige Felder befinden sich z. B. im Brisisandstein, wo wir auch sekundären Quarz beobachten können, der sich nach seiner Auflösung wieder ausgeschieden und sich den einzelnen Körnern in ihrer optischen Orientierung wieder angelagert hat. Weil aber dieser sekundäre Quarz meistens nur eine untergeordnete Rolle spielt und die Trennung der einzelnen Körner erhalten bleibt, so sind diese Erscheinungen noch zur Diagenese zu rechnen, und die Gesteine sind noch nicht als metamorph zu bezeichnen. Doch es ist deutlich, daß wir uns in einem Grenzgebiet befinden, in dem die Erscheinungen unmittelbar zur Gesteinmetamorphose hinüberleiten.

In einem speziellen Fall ließ sich die Bildung schwebender Kriställchen wahrnehmen, welche aus einfachen Körnern hervorgegangen sein müssen. Fig. 25 zeigt jene Kriställchen in einem Schliff aus dem Seewerkalk direkt über der Turrilitenschicht, also ungefähr aus dem Niveau der Ueberturrilitenschichten. Aeußerlich erscheint die typische Kristallform des hexagonalen Systems, innerlich ist zwar die Quarzmasse einheitlich orientiert, aber es sind massenhaft Calcitteilchen eingeschlossen. Diese Teilchen sind an der Außenseite gelagert, in der Mitte umschließen sie einen Kern unregelmäßiger Gestalt, der die Form der gewöhnlichen Quarzkörner besitzt. Weil der Quarz auch an seiner Oberfläche Calcit-

teilchen umschließt, welche der Grundmasse angehören, so ist es klar, daß die übrigen Teilchen um den Kern herum gleichfalls von der Grundmasse herstammen müssen. Ursprünglich waren eckige Körner in der Ablagerung vorhanden, und diesen wurde vom zirkulierenden Wasser gelöste Quarzsubstanz zugeführt, welche sich um die Körner kristallförmig aufbaute. Wenn sonst die „Kristallisationskraft" im allgemeinen die umgebende Masse verdrängt, so reichte hier, scheint es, diese Kraft nicht aus, und es wurden Teilchen der Grundmasse in den Kristall aufgenommen. Die Zeichnung zeigt, wie einerseits eine Orbulinaria vernichtet wird, indem die Schale verschwindet und dort

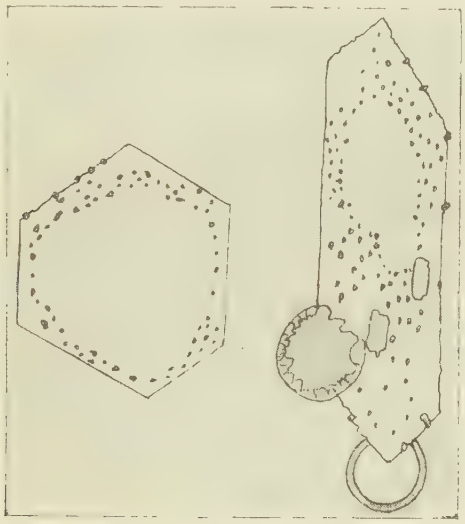


Fig. 25.

Quarzkriställchen, im Gestein aus Körnchen entstanden, wobei Teile der Grundmasse eingeschlossen wurden. Uebergang Gault-Seewerkalk.
Grau: Calcitstückchen, wobei zwei Foraminiferen. Vergr. 1:213.

aufgelöst wird, wo die Kristallspitze eindringt. Andererseits wird die calcitische Masse einer Foraminifere nicht verdrängt, sondern vom Quarz umwachsen. Diese Beobachtung ist deswegen besonders merkwürdig, weil aus einem unregelmäßigen Korn ein regelmäßiger Kristall entsteht. Dies geschieht in einer Grundmasse, die keine Spur von Lösungsstreifen zeigt, und die doch das Wasser mit der fremden Substanz allerseits durchgelassen haben muß, ein neuer Beweis, daß nicht nur in besonderen Bahnen, sondern in der ganzen Masse das Wasser sich umwandelnd betätigte.

Arn. Heim hat die Aenderungen sehr wohl bemerkt, sie aber nie in einen ursächlichen Zusammenhang gebracht. Er bemerkt nur allgemein, daß die Quarzkörner zerfressen aussehen und oft eine undulöse Aus-

löschung zeigen. Ohne eine Erklärung zu bringen, sagt Arn. Heim, daß die Eigenschaften fast allgemein für die Kreidesedimente zutreffen. Das zerfressene Aussehen ist der Auflösung zuzuschreiben, die undulöse Auslöschung dagegen, soweit sie nicht primär vorhanden war, ist wohl eine Aeußerung des Druckes. Es scheint mir sehr wohl möglich, daß der Druck groß genug war, um diese Erscheinung hervorzurufen. Auch sind mitunter in stark gerichteten Schmutzstreifen längliche Quarzkörner erhalten, deren Formen nicht ursprünglich sein können, und die, wie bei den kristallinen Schiefern, unter Einfluß des Druckes entstanden sein müssen.

Bleiben im großen ganzen die Umwandlungserscheinungen durch Druck beim Quarz relativ unbedeutend, so liegen die Verhältnisse beim Glaukonit anders, und es bringt der Druck hier typische Umformungen zustande. Sowohl wenn der Glaukonit an Ort und Stelle entstanden ist, als auch wenn das Mineral von Strömungen mitgeführt wurde, bleibt die Form oval oder rundlich, und in dieser Gestalt ist er der ursprünglichen Ablagerung eigen. In Fig. 23 hat das freiliegende Korn diese Form ziemlich rein bewahrt, während die anderen Glaukonitkörner alle längliche, eckige Gestalten zeigen, welche ursprünglich gar nicht möglich waren. Wir sehen diese Formen erstens durch die andern Körner, zweitens durch die Tonstreifen und drittens durch die vorherrschende Richtung der Komponenten bedingt. Der Glaukonit erscheint als ein Mineral, das besonders zu Formumwandlungen befähigt ist. Diese Formänderung, meistens einer Streckung gleichkommend, ist schon wieder eine Erscheinung, welche nach den kristallinen Schiefern hindeutet. Viele dieser Gesteine zeigen teils im ganzen, teils in den Schlieren eine Parallelstellung der Komponenten, sei es durch Streckung, sei es durch Lagerung nach einer ursprünglichen Längsachse. Es finden sich also in diesen noch typisch sedimentären Gesteinen die Anlagen vor zur Bildung metamorpher Gesteine der Epizone **Grubenmanns.**

Auf welche Weise kommt die Formänderung der Glaukonitkörner zustande? Man könnte an reine Lösungstätigkeit denken, wobei sich an den Stellen geringsten Druckes die Substanz wieder absetzt. Ob der Glaukonit dermaßen löslich ist, ist allerdings fraglich. Eher ist die Zusammensetzung der Körner geeignet, diese Eigenschaft zu erklären, denn der Glaukonit, wie er sich hier zeigt, scheint meistens ein Aggregat feinster Teilchen und Schüppchen zu sein. Wenn wir ein Korn bei stärkster Vergrößerung betrachten, so glauben wir allerhand feinste, gesonderte Partien beobachten zu können, aber eine wirkliche Trennung läßt sich nicht wahrnehmen. Außerdem scheinen die Glaukonitkörner selten rein glaukonitisch, sondern mit mehr oder weniger Kalksubstanz gemischt zu sein.

In Fig. 26 habe ich versucht diese Tatsache darzustellen. Die Quarzkörner sind hell, der Glaukonit ist mit dunkler Farbe angegeben. Das Bild entstammt den Aubrigschichten. Es zeigt einen länglichen, glaukonitischen Streifen mit eigenartigen Dichteunterschieden. Die verschiedenen Partien erscheinen verschieden dicht, jede an und für sich homogen und doch nicht von den andern abgetrennt. *A* stellt den gewöhnlichen Typus dar, während *c* als eine schwach-grüne Stelle

Fig. 26.

Glaukonitpartie der Aubrigschichten, verschieden entwickelt. Vergr. 1:213.
A: Grundmasse. B: Tonstreifen.
Grau: Glaukonit in verschiedenen Formen. a: normal. b: glaukonitisch.
c: stark calcitisch, schwach grün = glauconite pigmentaire.

erscheint, über die man nicht ganz sicher ist, ob sie glaukonitisch sei oder nicht, wenn auch die Farbe sofort an dieses Mineral denken läßt. Im polarisierten Licht fehlt das glaukonitische Bild fast vollständig und die Masse erscheint eher kalkig. *B* ist eine Zwischenstufe, zwar heller als *a*, aber bei gekreuztem Nicol noch typisch als Glaukonit zu erkennen. Das Stadium *c* ist dem „glauconite pigmentaire" von Cayeux gleichzustellen. In Fig. 26 sieht man auch zwischen den Quarzkörnern noch vereinzelte Glaukonitschüppchen. Es erscheint also der Glaukonit als ein sehr wandlungsfähiges Mineral, das sogar im Sediment noch weitere Stadien der Ausbildung erreicht. Auch nach der Vorstellung von Cayeux gestaltet sich die Geschichte dieser Substanz sogar nach der Ablagerung

noch sehr mannigfaltig. Neben der primären Entstehung und Weiterbildung im Sediment nimmt Cayeux an, daß es sich darin auch neu bilden kann.

Die Frage nach der Entstehung des Glaukonits ist mannigfach behandelt worden und es kann nicht meine Aufgabe sein, sie noch einmal zu erläutern. **Murray, Collet** und andere glauben, daß der Glaukonit sich in Foraminiferengehäusen bildet unter Mithilfe der organischen Substanzen. Nach ihnen entständen die freien Glaukonitkörner durch Zersprengung und Zertrümmerung der Schalen, wenn sie gerollt werden. Infolgedessen würden die Glaukonitkörner auch teilweise zerstört und es würde nach Collet ein weiteres Wachstum stattfinden können durch Anlagerung feinster Schüppchen. Diese Theorie der Anlagerung von Collet kann uns sehr zusagen, weil es auch im Sediment nach der Ablagerung noch reichlich Umlagerung und Wanderung solcher Teilchen zu geben scheint.

Der Ausgang dieser Betrachtung war die Erklärung der leichten Umwandlung des Glaukonits durch Druck. Der Aggregatzustand, das Bestehen aus feinsten Teilchen, muß einer Formänderung naturgemäß sehr günstig sein. Das Korn braucht seinen Zusammenhang nicht zu verlieren und kann doch dem Druck nachgeben. Deshalb können sich auch benachbarte Körner so eng aneinander schließen, daß es schwer fällt, eine Scheidung zu sehen, wenn nicht Schmutzstreifen, Teilchen der Grundmasse oder randliche chemische Umwandlungen die ursprüngliche Trennung verraten. Einzelne, größere Glaukonitpartien lassen sich sicher auf diese Weise erklären.

Durch diesen Bau der Körner ist aber auch leicht eine Trennung möglich. In Fig. 23 finden wir die Anlagen zu einer solchen schon im obersten Glaukonitkorn vorgebildet. Diese Teilung geht oft Hand in Hand mit einer gewissen chemischen Umwandlung, wobei das Wasser den Glaukonit in Eisenhydroxyd überführt. Dieser Vorgang färbt die peripheren Partien bräunlich und dringt auch in die Trennungslinien ein. Auch die Tonstreifen und die dichte Grundmasse werden dann teilweise gefärbt.

Wenn man annimmt, es seien die Glaukonitkörner oft nicht rein glaukonitisch, sondern in verschiedenem Grade mit Kalk gemischt, so läßt sich noch eine Erscheinung auf einfachste Weise erklären und zwar das Vorkommen von Glaukonitkörnern mit eingewachsenen Calcitkriställchen. **Arn. Heim** hat ihnen den Namen „Glaukocalcitkörner“ verliehen und er erklärt sie als „Mikrokonkretionen mit gemeinsamem Attraktionszentrum“.

Er schreibt (pag. 399): „Wer die natürlichen Aufschlüsse und die Dünnschliffe untersucht (bei den Altmannschichten), wird ohne weiteres

zugeben, daß Glaukonit und Calcit gleichzeitig ausgeschieden wurden, ferner daß sie keineswegs aus Foraminiferensteinkernen hervorgegangen sind. Die Foraminiferenschalen sind in ihrer ursprünglichen Schalenstruktur unversehrt erhalten geblieben und deren Kammern von dichtem Tonkalk oder Fe S_2 ausgefüllt.

Die Calcitkörner ohne oder mit wenig Glaukonit zeigen eine Art der Verwachsung der optisch verschieden orientierten Teilkörner, die an die bekannte Gletscherkornstruktur erinnert. Es handelt sich somit um einen mehr oder weniger tonigen Kalkniederschlag, indem sich am Meergrund Calcit und Glaukonit gleichzeitig ausgeschieden und als winzige Konkretionen „symbiotisch" zu rundlichen Körnern zusammengeballt haben".

So wenig mit diesen Behauptungen der Theorie der Entstehung des Glaukonites in Foraminiferengehäusen Abbruch getan wird — denn die Theorie besagt gar nicht, daß in jeder Schale Glaukonit entstehen müsse — so wenig ist hiermit von Arn. Heim eine neue Theorie konkretionärer Entstehung des Glaukonites und „Symbiose" mit Calcit begründet worden.

Fig. 27 zeigt in einer Reihenfolge von Bildern, daß diese Erscheinung sekundärer Natur ist und zur Ausbildung des Mineralcharakters gehört. Die Formen sind dem gleichen Schnitt des Gault-Seewerkalk-Uebergangs entnommen, woher auch die Quarzkriställchen der Fig. 25 stammen.

Die erste Reihe der Figur zeigt Foraminiferenschalen in verschiedenen Stadien der Umwandlung.

1. Die Schale ist von der Grundmasse umgeben und gefüllt, teilweise aber ist sie aufgelöst und verschwunden, ohne eine Spur zurückzulassen.
2. Wie 1, aber die Masse im Innern ist teilweise kristallisiert. In der Mitte einige deutliche Kristalle, ringsherum undeutlich, verwachsen, teilweise noch Grundmasse.
3. Die gezähnte Schale ist teilweise vernichtet, die Innenseite aber gänzlich calcitisch mit einigen deutlichen Rhomboëdern. Die Schale ist noch deutlich erkennbar, an einer Stelle aber ist ein kleiner Calcitrhomboëder hineingewachsen.
4. Schale und Form sind erhalten, die Masse gänzlich kristallinisch. Innen das Bild einer Verwachsungsnaht, Schale und Füllmasse auch teilweise verwachsen.
5. Die ganze Masse ist kristallinisch, eine Unterscheidung zwischen Füllung und Schale nur noch angedeutet.
6. Man kennt die Schale noch infolge der eigentümlichen Ränder. In der Mitte ist eine grün bis bräunliche Masse eingeschlossen,

welche sich als Glaukonit erkennen läßt, der schon weitgehend in Eisenhydroxyd übergeführt worden ist. Es handelt sich ursprünglich um eine Schale mit geringem Glaukonitgehalt: diese Substanz ist vom Calcit in die Mitte zusammengedrängt worden.

7. Die Masse ist glaukonitisch, an den Rändern aber — was schwer in der Zeichnung wiedergegeben werden konnte — teilweise

Fig. 27.

Umwandlungserscheinungen bei Foraminiferen mit und ohne Glaukonit. Vergr. 1:213. Grenze Gault-Seewerkalk. Grau: Grundmasse. Weiß: Calcit. Schwarz: Glaukonit.

umgewandelt und gelblich gefärbt, d. h. nur im Umkreis, nicht gegen die Calcitkriställchen, die den Glaukonit einseitig zusammengedrängt haben.

8 und 9. Wie 7. Wohlausgebildete Kriställchen wachsen vom Rand aus in die Glaukonitmasse hinein und drängen diese zusammen. Deutlich sieht man, wie diese Kriställchen nicht scharf von der Grundmasse getrennt sind, sondern daraus hervorwachsen. Die verschiedenen Kriställchen dringen von allen Seiten wie in einen Hohlraum hinein, so daß man eher an Sekretion als an Konkretion

denken würde, wenn nicht die Glaukonitmasse vorhanden wäre. Tatsächlich ist der Vorgang auch von außen nach innen vorgeschritten, dabei hätte aber das Wachstum der Kriställchen nicht rein von außen her stattfinden können, wenn nicht die glaukonitische Masse mit Calcit vermischt gewesen wäre. Das von außen kommende Wasser leitete zwar die Kristallbildung ein, die Kristallindividuen aber wurden hauptsächlich aus Kalksubstanz des Korns gebildet. Im Korn fand eine Entmischung einerseits, eine Verdichtung und Zusammendrängung der Glaukonitsubstanz andererseits statt. Dabei können allerhand Formen entstehen, denn der Glaukonit kann gänzlich in die Mitte gedrängt, aber auch seitlich angehäuft werden. In andern Fällen wird der Glaukonit sowohl seitlich als auch in der Mitte oder sogar in mehreren Punkten konzentriert. Der Glaukonit scheint aus Foraminiferenschalen hervorgegangen zu sein, was sich aus der teilweise erhaltenen Schale, sowie aus der Gestalt des Ganzen ergibt. In andern Ablagerungen aber sind die Körner gewiß erst nach weiter Wanderung aufgenommen worden. Die Schale fehlte, weil sie sich beim Transport nicht erhalten konnte. Auch bei diesen Körnern haben derartige Umlagerungen stattgefunden und für viele Gesteine sind diese eigentümlichen, verwachsenen Formen direkt typisch.

Die merkwürdigsten Erscheinungen des Glaukonits in diesen Gesteinen sind also kurz gefaßt die folgenden:

1. Formänderung durch Druck infolge des körnig-schuppigen Aggregatszustandes.
2. Verschmelzung durch Anlagerung.
3. Trennung durch Druck.
4. Entmischung der Kalksubstanz und Auswachsen derselben in Kriställchen, wobei der Glaukonit in einen oder in mehrere Punkte zusammengedrängt wird.
5. Umwandlung zu Eisenhydroxyd oder auch Pyrit (Cayeux).

Das Vorkommen anderer Mineralien, wie z. B. Kalkphosphat ist zwar interessant für die Entstehung des Sedimentes, aber von geringer Bedeutung für das allgemeine Bild und dessen Umwandlung. Cayeux hat alle diese Fragen ausreichend behandelt. Daß auch die größeren Fossilreste und Schalentrümmer verwachsen und umgewandelt sind, ist selbstverständlich. Besonders ein Gestein wie die Echinodermenbreccie zeigt solche Umwandlungen aufs Schönste. Auch wenn Grünsandschlieren sich an größere Fossiltrümmer legen, wie z. B. an Belemnite, so entstehen merkwürdige Bilder, die allesamt die Auflösung und Umlagerung bezeugen.

Fast jeder Schliff zeigt diese Eigentümlichkeiten mehr oder weniger ausgesprochen und eine mikroskopische Untersuchung führt zum gleichen Resultat wie die Beobachtung in der Natur: das Gestein ist eine Phase, das vorläufige Ende eines langen Weges, den es durch stete Umwandlung geht und wir beobachten es in einem Moment seiner Genese.

ÜBERSICHT.

VORWORT.

KAP. I. Die Knollenschichten und ihre Umgebung.

Die Kalkpartien der Knollenschichten sind keine Konkretionen oder Verfestigungen am Meeresboden. Nicht sie sind merkwürdig, sondern die Streifen und Schlieren des Grünsandes. Ihr eigentümlicher Verlauf ist keine Erscheinung der Sedimentation, sondern die Folge einer Auflösung im Gestein. Analoge Bildungen werden in der Kreide des holländischen Limburgs gefunden.

KAP. II. Auflösungserscheinungen im holländischen Limburg.

Die senone Kreide hat infolge der Auflösung eine weitgehende Umwandlung erfahren. Wenn diese Auflösung bestimmten, horizontalen Bahnen folgte, blieb unlöslicher Grünsand zurück und bildete Pseudoschichten. Wurde ein Gestein gänzlich vom Niederschlagswasser durchtränkt, so fand eine diffuse Auflösung statt. Konnte aber das Wasser eine Schicht nicht leicht durchdringen und auflösen, so wurde seine Oberfläche angegriffen und es bildeten sich tiefe Schloten und Taschen. Als unlösliche Bestandteile wurden konzentriert: Glaukonit, Quarz, Feuersteine, Gerölle, Fossilien. Bei der Auflösung blieben knollige Partien als Widerstandszentren zurück.

Die Auflösung steht im engsten Zusammenhang mit der Verwitterung der Oberfläche und mit der Geländegestaltung.

KAP. III. Betrachtung über die Auflösung.

Auflösung findet in noch viel größerer Tiefe statt als man anzunehmen geneigt ist. Die zur Lösung notwendige Kohlensäure entnimmt das Wasser der Bodenluft. Jedes Gestein ist durch seine Art vorbestimmt zu einer ihm eigenen Umwandlung.

KAP. IV. Die mittlere Kreide in den oberen helvetischen Decken des Walenseegebietes.

In dieser Kreide zeigen sich ungewöhnliche Erscheinungen der Ausbildung, der Gesteinsgrenzen und der Mächtigkeit. Sie lassen sich sämtlich als Folge der Auflösung erklären.

KAP. V. Lösungserscheinungen in den Knollen-, Turriliten- und Ueberturrilitenschichten.

Ein mehr oder weniger homogenes Gestein wurde vom Wasser in bestimmten Bahnen aufgelöst. Dabei wurde der Grünsand in diesen Bahnen konzentriert, während die Knollen als Reste des Gesteins erhalten blieben.

KAP. VI. Fortsetzung der Betrachtung. Mehrere Gesteine können Knollen bilden.

Die Knollenschichten erscheinen teilweise als massiger Grünsand. Der Unterschied ist wahrscheinlich eine Folge primär verschiedener Ablagerung. Auch die Turrilitenschichten, sowie die nächst tieferen Ablagerungen können Knollen zeigen. Um Verwirrung zu verhindern, soll der Name „Knollenschichten" durch eine Ortsbezeichnung ersetzt werden, und zwar wird nach dem Vorschlag von Arnold Heim die Bezeichnung „Aubrigschichten" gewählt, weil E. Ganz die massige Ausbildung „Aubrigschicht" genannt hat.

KAP. VII. Auflösungserscheinungen in Schichten ohne Grünsand: Seewerkalk.

Im Seewerkalk geben schwarze Häute die Auflösungsbahnen an. Sie bestehen hauptsächlich aus Ton und organischer Substanz. Feinste Verzweigung, sowie stylolithische Verzahnung beweisen, zusammen mit anderen Erscheinungen, daß diese Häute im Gestein infolge Auflösung entstanden sind. Von der primären Grenze zwischen rotem und weißem Seewerkalk bleiben die Tonstreifen unabhängig.

KAP. VIII. Gesteinslösung als Faktor der Gesteinsbewegung bei der Gebirgsbildung.

Im Gegensatz zu der limburgischen Kreide ist die Gesteinsumwandlung nicht abhängig von der Verwitterung oder von der Geländegestaltung. Die Umwandlung ist abgeschlossen. Die Gleichartigkeit und das allgemeine Vorkommen dieser Erscheinungen scheinen in Zusammenhang zu stehen mit der Gebirgsbildung.

Glätte, Glänzung und Streifung der Häute im Seewerkalk, sowie Zerreißung der Calcitadern beweisen, daß in den Lösungsbahnen Bewegung stattgefunden hat. Die Gesteinsumwandlung wurde von der Gebirgsbildung beeinflußt, und hat selbe wieder diese Gebirgsbildung gefördert, indem sie die Gesteinsbewegung mitbestimmte. Die Bewegung **würde** sich gerne in von der Spannung bestimmten Flächen geäußert haben. Sie **konnte** sich äußern unter Mithilfe der Auflösung, welche den Spannungsflächen zu folgen scheint. Die konstante Größe und die konstanten Formen der Flächen und der Linsen wären dann von der Spannung vorgeschrieben und würden die günstigste Bewegungsmöglichkeit darstellen. Ihre Ausbildung gestattete eine Bewegung lange bevor eine allgemeine Plastizität erreicht war. Kleinste Verschiebungen in den Flächen und geringe Lageänderung der Linsen ermöglichten durch ihre Summierung eine Bewegung, ohne daß der Gesteinszusammenhang verloren ging. Die Bedeutung der einzelnen Flächen und Linsen für die Gesteinsbewegung wird dann klar, wenn auf engstem Raum eine große Biegung zustande gekommen ist.

KAP. IX. Fortsetzung. Aehnliche Bewegungen in welligen Flächen.

Bevor eine allgemeine Plastizität erreicht worden ist, können Gesteinsbewegungen stattgefunden haben durch Zerreißen des Gesteins und Wiederverkittung der Teile mit geringer Lageveränderung. Weiter können sich die Schichten gegeneinander verschoben haben, und, wo keine trennenden Flächen gegeben waren, könnten solche geschaffen werden. Die Spannung rief, wenn immer möglich unter Mithilfe der Auflösung, Flächen hervor, in denen die Bewegung sich äußern konnte. Im Schrattenkalk der Amdener-Mulde sind auf diese Weise Gleitflächen erzeugt worden, welche die gleichen linsigen und welligen Formen zeigen, wie der Seewerkalk sie besitzt.

Auch die regelmäßigen, weichen Zwischenschichten des Neocomer-Kieselkalkes können nicht ursprünglich sein. Sie zeigen ganz eigentümliche Wellenlinien, die in benachbarten Flächen abhängig von einander sind und Bänke mit wechselnden Verdickungen und Verdünnungen hervorrufen. Auch diese Zwischenschichten müssen

im Gestein entstanden sein, wahrscheinlich unter Mithilfe der Auflösung, und sie müssen eine Bewegung ermöglicht haben. Es scheint sehr gut möglich, daß bei der Auflösung und Schichtbewegung auch im ganzen Mächtigkeitsunterschiede der Schichten entstanden sind.

KAP. X. Schichtwechsel und Gesteinsübergang in der mittleren Kreide. Die Grenze gegen den Schrattenkalk.

Die Umwandlung und Auflösung vollzieht sich je nach der Gesteinsart. Mit jedem primären Gesteinswechsel muß also auch die sekundäre Umwandlung sich ändern. Infolgedessen wird der ursprüngliche Gesteinswechsel scharf ausgeprägt und es entstehen Uebergänge in vertikaler Richtung, die das Bild einer Diskontinuität vortäuschen können.

Der ausgesprochenste Gesteinswechsel liegt an der oberen Schrattenkalkgrenze vor, und so wurde diese sekundär am schärfsten ausgeprägt. Weil diese Grenze aber ursprünglich eine wichtige Bedeutung hatte und vielfach einer Lücke in der Ablagerung entspricht, so ist eine sehr verwickelte Ueberlagerung der Erscheinungen zustande gekommen. Die karrige Oberfläche des Schrattenkalkes ist nicht als eine primäre Fläche zu betrachten. Sie wurde bei der Diagenese im Gestein ausgebildet.

KAP. XI. Fortsetzung. Die Grenzen innerhalb der mittleren Kreide.

Die weiteren vier oder fünf Diskontinuitäten lassen sich gleichfalls als Folge eines sekundär ausgeprägten Gesteinswechsels erklären. Die Ablagerung änderte zwar ihren Charakter, fand aber kontinuierlich statt. Größere Unterbrechungen, oder sogar eine Landperiode vor der Ablagerung der Durchschlägischichten, kommen nicht in Frage. Die wichtigste Grenze ist die obere Grenze der Brisibreccie. Wo diese dem Schrattenkalk überlagert, erscheint die Hauptumwandlung nicht an der Grenze des Schrattenkalkes, sondern an der Grenze der Brisibreccie.

KAP. XII. Uebergang Albien-Rotomagien-Turon.

Infolge der ursprünglich gleichartigen, vorwiegend kalkigen Beschaffenheit dieser Ablagerungen wurden keine Uebergänge ausgeprägt.

KAP. XIII. Ueber den Begriff der Schichtung.

Das Wesen der Schichtung besteht in der flächenhaften Ausbreitung der Materialien, welche an der Erdoberfläche abgelagert werden, in ihrer Erstreckung in horizontaler Richtung infolge der Schwerkraft. Weder Absonderungsflächen, noch Unterbrechungen sind für die Begriffsbestimmung notwendig.

Schichtfugen entstehen sekundär und zwar hauptsächlich infolge Gesteinsspannungen, die zur Auslösung kommen. Wo primärer Gesteinswechsel vorliegt, kommt leicht eine Trennung zustande. Es ist aber nicht notwendig, daß an solcher Stelle eine Schichtfuge entsteht. Dagegen können Trennungen im homogenen Gestein entstehen. Schichtfugen oder ähnliche Bildungen werden dort erzeugt, wo das Gestein sie für die Bewegung braucht. Solche Trennungen und Flächen bilden sich aus in der Schichtrichtung, weil das Gestein im Ganzen geschichtet ist, d. h. sich in einer Richtung erstreckt. Diese Erstreckung, diese Schichtung macht die Entstehung der Faltengebirge möglich.

KAP. XIV. Die Diagenese der Kreidesedimente.

Die Diagenese umfaßt die Vorgänge, welche nach der Ablagerung die Sedimente umwandeln. Sie führt zur Gesteinsmetamorphose hinüber. Tatsächlich deuten

verschiedene Erscheinungen auf die kristallinen Schiefer, ohne daß aber die entscheidenden Merkmale völlig ausgebildet worden sind. So ist es besser, diese Umwandlungen der Kreide noch zur Diagenese zu rechnen.

Die Diagenese der Kreidesedimente bedeutet eine Auflösung und Reduktion einerseits, eine Verdichtung und Konzentration andrerseits. Sie war ein wichtiger Faktor bei der Gebirgsbildung, denn, während die Gebirgsbildung die Diagenese mitbestimmte, förderte diese umgekehrt die Gesteinsbewegung.

KAP. XV. Die Diagenese im mikroskopischen Bild.

Das mikroskopische Bild zeigt natürlich die gleiche Reduktion und Konzentration. Die Grundmasse des Gesteins, so wie die Gemengteile haben weitgehende Umwandlungen erfahren.

Die Auflösung der Grundmasse führte zur Bildung von dunkeln Tonstreifen. Die Körner sind vielfach bei der Auflösung in gleicher Richtung und im Sinne ihrer Längsachse gelagert worden. Sie beeinflussen sich oft gegenseitig in Form und Lage. Diese Erscheinungen deuten nach den kristallinen Schiefern hin. Die Quarzkörner sind vielfach zackig angefressen und zeigen oft eine undulöse Auslöschung.

Der Glaukonit hat infolge seines Aggregatzustandes mannigfache Formänderungen erfahren, während chemische Umwandlungen nebenher gehen. Sein Wachstum scheint mit der Ablagerung nicht beendet zu sein.

Die eigentümlichen Verwachsungen von Glaukonit und Calcit, von Arnold Heim: „Glauko-calcitkörner“ genannt, sind keine ursprünglichen, konkretionären Bildungen, sondern sie sind im Gestein entstanden.

Literatur.

H. Ahrens. Der große Aubrig im Wäggital. Diss. Univ. Marburg 1914.

K. Andrée. Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehungen zur Sedimentbildung und Sedimentpetrographie. Geol. Rundsch. Bd. II. H 2/3, 1911.

— Ueber Sedimentbildung am Meeresboden. Geol. Rundsch., mehrere Folgen.

— Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung. Geol. Rundsch. Bd. IV. H 7/8, 1915.

P. Arbenz. Geologische Untersuchungen des Frohnalpstockgebietes. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz N. F XVIII., Bern 1905.

M. E. van den Broeck. Sur les altérations des dépôts quaternaires par les agents atmosphériques. Paris 1877.

— Note sur l'altération des roches quaternaires des environs de Paris par les agents atmosphériques. Extr. d. Bull. d. l. Soc. géol. de France 3e. Série t. V, 1877.

L. Cayeux. Contribution à l'étude micrographique des terrains sédimentaires. Lille 1897.

— Introduction à l'étude micrographique des roches sédimentaires. Mém. p. s. à l'expl. d. l. carte géol. de la France. Paris 1916.

L. W. Collet. Les dépôts marins. Paris 1908.

E. Ganz. Stratigraphie der mittleren Kreide der oberen helvetischen Decken in den nördlichen Schweizeralpen. Diss. Univ. Zürich, Denkschr. d. Schweiz. Nat. Gesells. 47, 1912.

Alb. Heim. Einige Gedanken über Schichtung. Vierteljahrschr. d. Nat. Gesells. Zürich, 1909.

— Geologie der Schweiz. Leipzig 1919.

— Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluß an die geologische Monographie der Tödi-Windgällengruppe. Basel 1878.

— Das Säntisgebirge. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz N. F. XVI. Bern 1905.

Arn. Heim. Monographie der Churfirsten-Mattstockgruppe. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz N. F. XX. Bern 1910.

W. C. Klein. Het Diluvium langs de Limburgsche Maas. Verh. v. h. geol. mijnb . genootschap v. Nederland e. Kol. Geol. Ser. Deel II.

Murray and Renard. Deep Sea Deposits. Challenger Report.

E. Ramann. Bodenkunde. Berlin 1911.

H. Schardt. Mélanges géologiques sur le Jura neuchâtelois et les régions limotrophes. Extr. du Bull. d. l. Soc. neuchâteloise d. Sc. nat., T. XXVIII., année 1899—1900.

J. Schoo. Oplossingsverschijnselen in het krijtgebied van Zuid—Limburg. Verh. v. h. geol. mijnb. genootschap v. Nederland e. Kol. Geol. Ser. Deel V., 1921.

M. Semper. Schichtung und Bankung. Geol. Rundsch. Bd. VII., 1916.

K. Tolwinski. Die grauen Hörner. Diss. Univ. Zürich, Vierteljahrschr. d. Nat. Gesells. Zürich 1910.

G. D. Uhlenbroek. Het krijt van Zuid–Limburg. Jaarversl. d. Rijksopsporing v. Delfstoffen over 1911.

G. Wagner. Stylolithen und Drucksuturen. Geol. und palaeont. Abh., herausgeg. v. E. Koken N. F. Bd. XI. H. 2 I, 1913.

Fr. Wähner. Ueber Gesteinsschichtung und deren Einfluß auf die Gestaltung der Landschaft. Vortr. d. Verein z. Verbr. naturw. Kennt. in Wien XXXVII. H. 13. Wien 1897.

Joh. Walther. Allgemeine Palaeontologie. Bd. I, Berlin 1919.

— Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Jena 1893—1894.

Curriculum vitae.

Ich, Jan Schoo, wurde am 22. Juli 1897 in Amsterdam geboren. Dort besuchte ich Volksschule und Gymnasium. An der Universität Zürich studierte ich in den Jahren 1915—1921. Wegen Militärdienstes mußte ich das Studium längere Zeit unterbrechen. Meine hauptsächlichsten Terrainarbeiten machte ich in Amden und am Vierwaldstättersee in den Sommern 1920 und 1921.